Abstract

This project involves the geometrical design of a 4.3 km road located in between the cities of Paraiso and Cartago in the province of Cartago.
Actually this road is in pretty bad shape; it doesn't meet the minimal standards established by law for rural roads like an adequate drainage system, lanes width and horizontal curvature just to mention a few.
Using the information gathered on the site by a topography crew the alignments were defined and a geometrical improvement to the existing road was designed. Also using the results of some soil test made on the ground the California Bearing Ratio, or CBR for short, was determined and used to design the pavements.
In addition some visits to the site were made in order to finish an inventory of the road conditions and to carry out vehicle counts.
At the end the new design consist of a two way road, each lane of 3.65 meters wide with 1.2 meter shoulders and side ditches on both sides of the road.
Some other elements were taken into consideration when designing the road, for example the sidewalks, shoulders, drainage systems and even a bicycle lane located between the stations o+500 and 0+850.
Also three different intersections were designed since in those exact locations converge other very important routes.
And finally there were made some other proposals for alternate designs which involved the acquisition of properties from the neighbors but due to the budget limitations were not viable at the time but will be held as options for future interventions.

Key words: Paraiso, MOPT, Design, CBR, topography.

Resumen

Este proyecto consiste en el diseño geométrico de un tramo de vía de 4.3 km de longitud localizado en el cantón de Paraíso, en la provincia de Cartago.
En la actualidad esa calle se encuentra en mal estado, con anchos de carril y radios de giro que no cumplen con los mínimos establecidos por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, con vecinos cuyas propiedades invaden los derechos de vía y con drenajes inexistentes o en malas condiciones.
Tomando como base la información generada por una cuadrilla de topografía enviada al sitio por el MOPT se definieron los alineamientos respectivos y se realizó un mejoramiento a la geometría existente. Con los resultados obtenidos de las pruebas de campo realizadas se determinó el CBR del suelo, el cual fue de 5, y esa información se empleó para realizar el diseño de los pavimentos. También se efectuaron visitas al sitio con el fin de realizar el inventario de la zona y también los conteos vehiculares.
En definitiva, la propuesta de diseño consistió en dos carriles de 3.65 metros de ancho cada uno con espaldones de 1.2 metros y cunetas a lo largo de todo el proyecto. Además se diseñó una ciclovía en un tramo de 350m ubicado entre las estaciones 0+500 y 0+850.
También fue necesario realizar tres diseños de intersecciones ya que en esos puntos convergían otras rutas de mucha importancia.
Así mismo se plantearon todas las propuestas de diseño que ameritaban expropiaciones y que por limitaciones presupuestarias no se contemplaron en el diseño original pero que podrían quedar como sugerencias para futuras intervenciones.

Palabras clave: Paraíso, MOPT, CBR, Diseño, topografía.

Diseño geométrico, drenajes y pavimentos de la Ruta Cantonal 3-01-033



EFRAIM ZELEDON LEIVA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio 2010

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION

Contenido

Prefacio

Actualmente, debido a la gran crisis económica que enfrenta no solo Costa Rica sino la mayoría de los países, se vuelve una necesidad el manejo eficiente y eficaz de los recursos, así como la ejecución expedita de los proyectos. Pero en muchos casos los gobiernos locales no logran ejecutar de manera pronta la mayoría de los proyectos y esto les genera un problema, no solo con los vecinos que se muestran descontentos sino además con la Contraloría General de la República que los llama a cuentas por la poca inversión y la falta de ejecución de obras.

El Ministerio de Obras Públicas y Transportes, a través del Consejo Nacional de Vialidad, ha llevado a cabo una importante inversión en el mejoramiento de la red vial nacional, así como las municipalidades lo han hecho en la red vial cantonal, pero debido a que algunas de las municipalidades no cuentan con la capacidad para realizar todos los diseños de las obras que desean ejecutar, el MOPT las asiste, encargándose en muchos casos de realizar los diseños, los estudios de suelos y demás pruebas de laboratorio requeridas.

De esta manera, el presente proyecto busca realizar un mejoramiento mediante la elaboración de un diseño geométrico, diseño de drenajes y de pavimentos para una sección de la ruta cantonal 3-01-033. Esta ruta es la que comunica el "Campo Ayala" en Paraíso de Cartago con Navarro de Muñeco. A lo largo de los 4.3 km de la ruta se encuentran entre otros sitios de importancia el relleno sanitario Los Pinos, el cual recibe toda la basura del centro de Cartago y sus alrededores; se encuentra también una subestación del ICE y además por esa ruta se puede acceder al Jardín Botánico Lancaster, importante sitio turístico y ecológico de la zona.

Es por esto que hay un interés y un compromiso tanto del Municipio como del Ministerio por sacar adelante esta obra. Además, si en algún momento se decidiera sustituir el puente peatonal que actualmente se encuentra al final de la ruta y que atraviesa el rio Agua Caliente, por uno que permita el paso vehicular se abriría entonces una nueva opción que permitiría a los vecinos de Orosi y sus alrededores llegar a Cartago sin tener que circular por el centro de Paraíso. El tránsito vehicular por esta ruta aumentaría significativamente reduciendo a su vez la saturación que actualmente afecta al cantón central de Paraíso.

Este proyecto se llevará a cabo desde el departamento de Diseño Geométrico del MOPT para la Municipalidad de Cartago. Este departamento tiene la gran responsabilidad de llevar a cabo la mayoría de los diseños viales para rutas cantonales en nuestro país, pero posee grandes limitaciones en personal, presupuesto y capacidad instalada. De ahí la importancia del presente proyecto, el cual surge de la necesidad del Departamento de Diseños de nuevos profesionales para poder cumplir con todas sus responsabilidades.

Para alcanzar dicho objetivo se pretende realizar un estudio de las condiciones actuales del sitio y las necesidades presentes. Posteriormente, y buscando aprovechar al máximo las condiciones existentes se elaborará un diseño geométrico que incluirá, además, los drenajes, el pavimento y los muros de retención necesarios. Así mismo se presentarán las recomendaciones necesarias y/o diseños alternativos que optimizarían las condiciones del sitio.

Se le agradece muy especialmente al Ing. Eduardo Barquero por su ayuda en el desarrollo de este proyecto de graduación. Su conocimiento y gran interés por buscar siempre el desarrollo de nuestro país son un ejemplo a seguir.

Así mismo al Ing. Eyden Ajoy quien desde su puesto en el Ministerio de Obras Publicas tuvo la disposición de brindarme su ayuda y apoyo no solo en la parte académica, sino también en la parte laboral. Sin la ayuda y el compromiso de ambos este proyecto no se hubiera podido realizar.

Al resto profesores y compañeros de la universidad, muchas gracias por su apoyo durante todo este periodo.

Dedicatoria

A mis padres quienes día a día lucharon por darme lo mejor y siempre fueron un ejemplo de rectitud y trabajo duro; especialmente a mi mamá quien durante estos últimos años ha luchado muy duro por sacarnos adelante.
A mis familiares y amigos cercanos, quienes siempre estuvieron conmigo en los buenos y en los malos momentos. A todos ellos les agradezco y les dedico mi proyecto.

Resumen ejecutivo

Una gran cantidad de caminos vecinales en Costa Rica se encuentran en malas condiciones debido a la falta de mantenimiento, diseños inapropiados, falta de drenajes, invasiones por parte de los vecinos o por la desatención de las autoridades locales.
Esto complica las posibilidades de desarrollo de los pueblos ya que el buen estado de las vías de comunicación es vital para el comercio de productos, el transporte de los vecinos y el crecimiento en general de las comunidades.
En el caso especifico de este proyecto, se buscaba realizar el mejoramiento de un tramo de calle de 4.3 km de longitud en la provincia de Cartago (ver Figura 1).

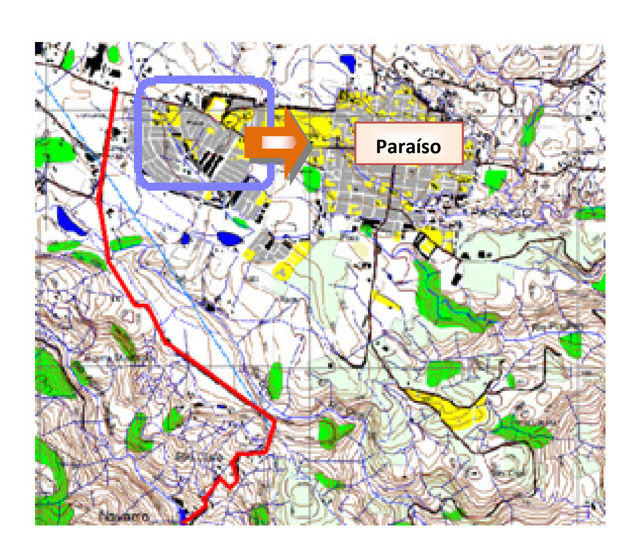


Figura 1. Tramo de carretera a intervenir. (El autor)

Esto es de mucha importancia ya que la única vía de acceso y salida para los vecinos del valle de Orosi es a través de la ciudad de Paraíso y no solo en horas pico sino que casi en cualquier momento del día la congestión vehicular se vuelve complicada. Además, en la zona del valle y sus alrededores existen muchos tajos para extracción de materiales lo que genera un alto tránsito de vehículos pesados como camiones y vagonetas que, sumados a los miles de vehículos livianos que a diario transitan por Paraíso vuelven la situación bastante complicada.
Es por esto que la rehabilitación de la ruta 3-01-033 es de gran importancia ya que permitiría desviar gran parte del tránsito que actualmente atraviesa la ciudad de Paraíso para llegar a Cartago. Con esto no solo se descongestiona el centro de Paraíso sino que se alarga la vida de las calles del cantón ya que se estaría manejando una parte del tránsito pesado de la zona por la ruta nueva cuyo pavimento seria también diseñado contemplando la sobrecarga que tendría que soportar.
Paralelamente a este proyecto se está realizando un mejoramiento geométrico de la ruta 3-01-041 la cual comunica también el valle de Orosi con la ciudad de Cartago pero atravesando la población de Dulce Nombre. En un punto localizado 800 metros al sur de la entrada a la estación del ICE en Cóncavas se intersecta con la ruta 3-01-033.
SI bien es cierto el diseño de esa otra ruta no forma parte de este proyecto de graduación, es necesario tomarla en consideración ya que el nivel de tránsito que puede llegar a circular por ella va a incrementarse significativamente y en el punto donde ambas se intersectan inevitablemente se va a presentar una división del tránsito; unos vehículos que continuarán hacia Dulce Nombre y otros, la gran mayoría, que se desviarán hacia Campo Ayala incrementando así el tránsito vehicular que viene desde Navarro de Muñeco. Es por esto que se buscó realizar un diseño geométrico que cumpliera con los lineamientos y todas las normas establecidas para el diseño de carreteras pero que también se apegara a los limitados presupuestos con los que contaban las municipalidades de Cartago y Paraíso para este proyecto.

Para alcanzar dicho objetivo se realizó primeramente un estudio de las condiciones del sitio y las necesidades presentes; con este fin se ejecutó lo que en el Ministerio se conoce como un Inventario, en el cual se evaluaron distintos factores que ayudaron a determinar entre otras cosas el nivel de desarrollo socioeconómico de la zona. Con esto y mediante el cálculo de parámetros determinados se define si la ruta es o no prioritaria y el tipo de intervención que requiere.
Además, se hizo un croquis de la zona y se marcaron los puntos de referencia a lo largo de la vía; esto con el fin de servir de guía informativa para futuras investigaciones o proyectos en la zona.

Luego con la información topográfica obtenida del sitio y haciendo uso del software para diseño Auto CAD Civil 3D se procedió a realizar el nuevo diseño geométrico del proyecto. Se tomaron en cuenta para definir los anchos de carril distintos factores como el tránsito promedio diario, el tipo de vehículo que circula por la zona y el tipo de terreno aledaño. Se contó además con la información y directrices que indica el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales para definir lo que son radios de giro, longitudes de curva, pendientes, distancias de visibilidad y demás aspectos propios que conlleva el diseño de una carretera. Luego se definió la rasante para los distintos tramos del proyecto, buscando ajustarla lo más posible al perfil del terreno y así reducir los movimientos de tierra lo más posible.

Posteriormente se calcularon las cuencas y los caudales que afectaban los distintos tramos del proyecto con el fin de ubicar correctamente las alcantarillas y definir sus diámetros. Esto se hizo empleando el método racional, el cual contempla que para obtener un caudal específico se deben considerar la intensidad de la lluvia, el coeficiente de escorrentía de la zona y el área afectada.

Con los caudales obtenidos se eligieron los tipos de tuberías, ya sea circulares o de cuadro y sus respectivas dimensiones para ser ubicados en los puntos previamente seleccionados. Pensando en facilidades de mantenimiento y para evitar obstrucciones se decidió luego que el diámetro mínimo para todas las alcantarillas utilizadas en el proyecto fuera de 80 cm.

Al mismo tiempo, con los resultados obtenidos de los estudios de suelos realizados por el Laboratorio de Materiales del Ministerio se realizaron los diseños de pavimentos correspondientes. Finalmente se unió toda la información obtenida para realizar el diseño final y verificar que en conjunto todo cumpliera.

Una vez realizado esto se pudo analizar que, si bien el proyecto cumplía con los mínimos establecidos por el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales para una carretera rural en zona montañosa, dícese carriles con anchos de 3.65 metros con espaldones de 1.2 metros, pendientes menores al 14%, radios de giro de 60 metros o más y curvas verticales mayores a los 50 metros entre otros, estos podían no ser del todo adecuados para la zona y el flujo de transito proyectado.

Por ese motivo, y considerando que cumplir con los mínimos establecidos no siempre significa que se están haciendo las cosas bien, se decidió realizar dos diseños más, a manera de recomendaciones o propuestas de diseño alternativas, las cuales no solo cumplan con las normas mínimas sino que vayan más allá y busquen mejorar de manera significativa las condiciones de circulación de la zona. Se resolvió entonces realizar dos trazados completamente nuevos, ya que esa era la única manera en la cual se podría mejorar la geometría de la carretera, esto debido a lo montañoso de la zona en la cual se encuentra el proyecto.

Se propuso que ambos diseños partieran del mismo punto; la estación 3+150. (Ver Figura 2.) Esto porque es a partir de ese punto que las condiciones topográficas se vuelven complicadas; las pendientes altas y los radios de giro muy angostos. Anterior a ese punto el diseño geométrico va a ser el mismo para los tres diseños. Ahí las condiciones sí se prestan para diseñar cumpliendo con los criterios técnicos y las normas establecidas.

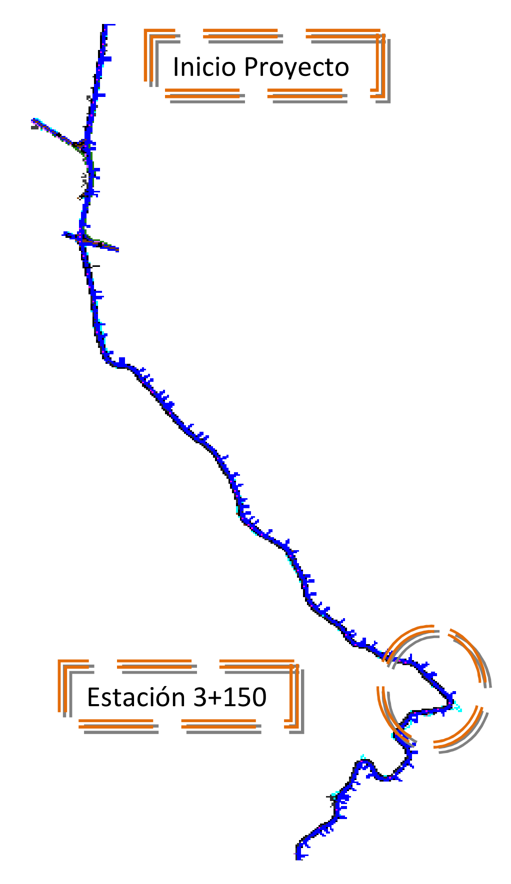


Figura 2. (El autor)

El primer diseño alternativo (de ahora en adelante *Diseño #1*) inició como ya se indicó en la estación 3+150 y concluyó al igual que la ruta existente en el poblado de Navarro de Muñeco; este nuevo diseño, empero, es ligeramente más largo que la ruta original. (Ver figura 3)

Esto fue necesario ya que la única manera de disminuir las pendientes y de aumentar los radios de giro era incrementando la longitud del trazado. En este caso la nueva carretera se diseñó bordeando el cerro que se encuentra antes de llegar al poblado de Navarro.

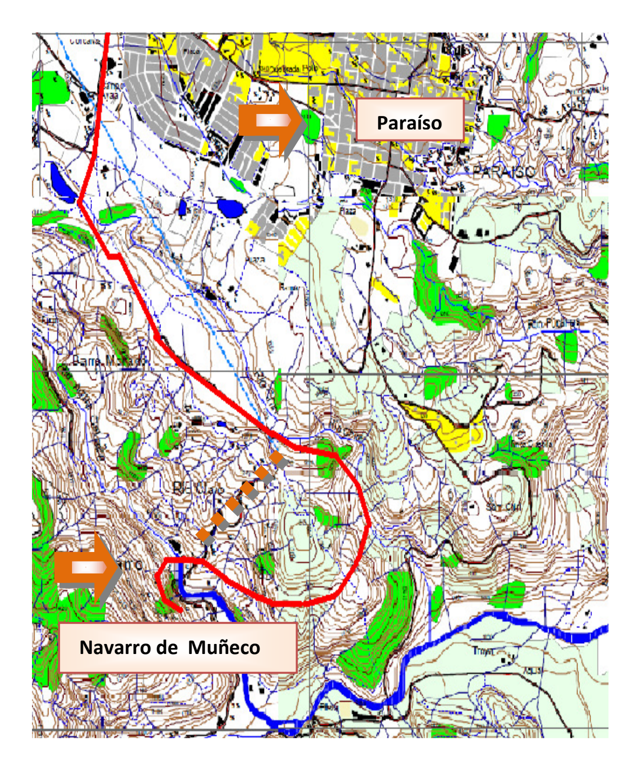


Figura 3. Diseño #1 (El autor)

El segundo diseño (de ahora en adelante *Diseño #2*) también buscaba hacer más transitable la carretera disminuyendo pendientes e incrementando radios de giro. En este caso también se diseñó bordeando el cerro; pero en dirección contraria; es decir que en vez de finalizar el proyecto en Navarro de Muñeco, se decidió terminarlo en una intersección cercana a "Puente Negro", casi cinco kilómetros rio abajo. Esta decisión se basó en la importancia de generar una ruta alterna a los vecinos de Orosi que desean llegar a Cartago, sin pasar por Paraíso, pero también sin pasar por Navarro; es una ruta más directa (Ver figura 4) y así se canaliza mejor el tránsito vehicular; el cual se proyecta en aproximadamente 3000 vehículos por día para el año 2020.
La longitud total de este nuevo diseño es de cinco kilómetros doscientos metros; casi un kilómetro más que la ruta ya existente y uno menos que el Diseño #1.

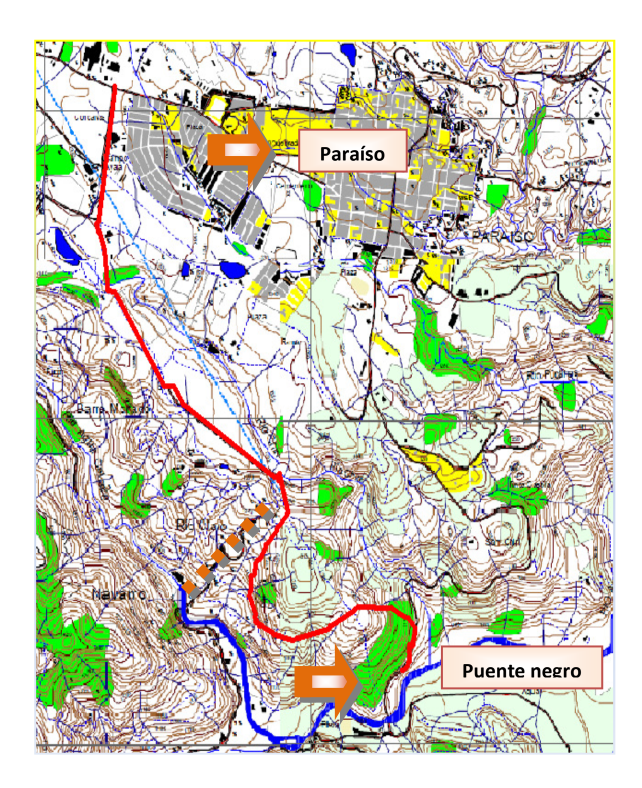


Figura 4. Diseño #2 *(*El autor)

Luego de haber realizado satisfactoriamente los tres diseños se puede afirmar que en cualquier trabajo de diseño o mejoramiento geométrico de carreteras se enfrentan o se presentan dos situaciones antagónicas; realizar un diseño cumpliendo con todas las especificaciones pero a costa de realizar expropiaciones y movimientos de tierra masivos o apegarse lo más posible al trazo ya existente buscando reducir costos y/o tratar de mejorarlo pero sin realizar intervenciones a gran escala y cuyo resultado será algo muy similar a lo que ya se encontraba en el sitio.

En este caso se realizaron las propuestas de diseño que, en teoría, llenarían las expectativas de ambas partes, o de ambas tendencias: mejorar sin intervenir mucho, o trazar una ruta toda nueva, con los costos y los agravantes que esto también podría traer.

Introducción

Es bien sabido por todos que Costa Rica tiene la red de carreteras más extensa de todo Centroamérica. Entre rutas Nacionales y rutas Cantonales nuestro país posee alrededor de 36 mil kilómetros de carreteras que logran conectar cualquier punto del país. Ya sea por una carretera asfaltada o por una calle lastreada casi no hay un lugar de nuestro país al que no se pueda accesar en automóvil. Esto debería ser un orgullo para todos los costarricenses ya que lograr ese nivel de desarrollo ha sido un gran esfuerzo por parte tanto de las autoridades del Ministerio de Obras Públicas y Transportes como por parte de autoridades municipales durante muchos años. Pero desafortunadamente un porcentaje considerable de todas esas carreteras se encuentra en mal estado. Ya sea por el abandono en que están, la falta de mantenimiento, por el sobrepeso de muchos camiones o por el simple deterioro debido a la fatiga de los materiales es fácil encontrar daños en casi cualquier calle. También hay que considerar que las condiciones en nuestro país son muy adversas no solo por el clima, sino también por la topografía de los terrenos.

Además debido a la poca inversión en los últimos años, nuestro país presenta un retraso importante en desarrollo de infraestructura vial.

Precisamente para evitar que se sigan presentando estos problemas con nuestras carreteras es que además de planear un buen mantenimiento rutinario para las vías ya existentes se deben realizar para las nuevas carreteras diseños de muy alta calidad, contemplando todos los factores que se puedan presentar y además proyectando a futuro los elevados niveles de tránsito que llevarán esas vías de comunicación.

Debido a toda esta problemática, además del retraso en infraestructura vial que tiene nuestro país es que el principal objetivo de este proyecto es desarrollar un mejoramiento geométrico para una carretera muy deteriorada en la provincia de Cartago. En la actualidad esa ruta esta lastreada y transitable, pero ya requiere de una importante intervención no solo para evitarle un mayor deterioro sino además para mejorar las condiciones actuales.

Además de ese mejoramiento se presentan dos diseños alternativos que pretenden servir como una opción para desarrollar en un futuro, con radios de giro más amplios, mayores velocidades y menores pendientes. Todo esto con el fin de presentarles a los vecinos y a las autoridades locales una serie de propuestas para el desarrollo de la zona en lo que a infraestructura vial se refiere.

Justificación

La iniciativa de la Municipalidad de Paraíso de Cartago de intervenir esta ruta y realizar un mejoramiento tanto geométrico como de pavimentos estaba justificada inicialmente en la necesidad de los vecinos de Navarro de Muñeco de tener una vía en buenas condiciones para el tránsito desde y hacia sus hogares así como en la necesidad de mejorar la geometría y la estructura de pavimentos para permitir el paso fluido de los camiones que transportan basura hacia el relleno sanitario Los Pinos. El sobrepeso de estos camiones rápidamente deteriora cualquier pavimento que no cuente con una estructura de base y subbbase adecuada.

Pero desde un punto de vista más general, el diseño de una nueva ruta responde principalmente a la necesidad de crear una vía alterna para descongestionar el transito proveniente del valle de Orosi con rumbo a Cartago y que actualmente atraviesa la ciudad Paraíso. El desarrollo tanto turístico como industrial de la zona del valle no ha ido de la mano con la ampliación de la infraestructura vial ni con el desarrollo social y se está presentando un retraso en la creación de nuevas rutas de salida de la zona.

Además lo que inicialmente era una zona cuyo transito estaba conformado por vehículos livianos pasó a ser en la actualidad vía de paso para camiones pesados. Como se puede observar en los anexos 12 y 13, el uso de suelo en la zona continua siendo primordialmente agrícola con algunas pequeñas zonas residenciales e industriales. Pero el factor determinante en el incremento de vehículos pesados es el quebrador de la empresa Orosi Siglo XXI quienes extraen material del rio Grande de Orosi y lo transportan hacia el plantel en Curridabat utilizando la única vía de salida del valle, la cual es atravesando Paraíso.

El diseño y de ser posible, la futura construcción de este nuevo proyecto seria además de mucha importancia para impulsar el desarrollo social de la zona, el cual según se puede observar en los anexos 14, 15 y 16 ha sufrido un deterioro muy significativo en los últimos 10 años, colocando al cantón de Paraíso en el lugar 49 entre los 81 cantones del país, con una nota menor a 50.

Por todo lo anterior queda claro que ya sea el mejoramiento geométrico del tramo de vía actual como la propuesta de dos diseños alternos son de mucha importancia para el desarrollo de la zona y para el de sus pobladores.

Marco Teórico

Principales elementos que componen una carretera

Derecho de vía

"Es el ancho total de la carretera, calle, sendero, servidumbre, esto es la distancia entre líneas de propiedad incluyendo en su caso calzada, fajas verdes y aceras."[1]

Drenajes

En toda carretera uno de los elementos más importantes a tomar en consideración es el desfogue o evacuación de las aguas que caen sobre la superficie de la vía, ya que se ha demostrado que la estabilidad y buen comportamiento de una estructura de pavimentos solo puede mantenerse a través del tiempo, si esta se mantiene en un estado relativamente seco, durante toda su vida útil.
"Con ese objetivo se comenzaron a instalar zanjas de evacuación que evitaban que el agua de lluvia, que cae sobre la vía y la que corre por los cauces naturales del terreno penetraran dentro del suelo de explanación"[2]

[1] Fuente: "Reglamento del INVU para el Control Nacional de Fraccionamientos y Urbanizaciones"
[2] Fuente: "Drenaje Vial" Dr. Raúl Benítez Olmedo

Drenaje superficial

La principal función de un drenaje superficial es la de evacuar el agua de lluvia que cae sobre la carretera y sus taludes. El drenaje superficial consta principalmente de tres elementos:

- ***Diseño Hidráulico***: "El cálculo del gasto que puede circular por una obra de drenaje superficial, en función de su forma y del material con el que está construido".[3]
- ***Diseño Hidrológico***: "Es el cálculo del gasto que realmente llega a una obra de drenaje superficial".[4]
- ***Diseño estructural***

El diseño hidrológico se puede realizar empleando el llamado método Racional. "Este se usa con mucha frecuencia en la determinación de caudales en cuencas de captación pequeñas y se puede utilizar en la mayoría de zonas geográficas".[5]
En este método se supone que "el caudal máximo para un punto dado se alcanza cuando todas las partes del área tributaria están contribuyendo con su escorrentía superficial durante un periodo de precipitación máxima."[6]
Para obtener esto, la tormenta de diseño debe tener una duración igual o mayor al que

[3] Fuente: "Drenaje Vial" Dr. Raúl Benítez Olmedo
[4] Fuente: "Drenaje Vial" Dr. Raúl Benítez Olmedo
[5] Fuente: "Ing. de Caminos Rurales. AID
[6] Fuente: "Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores en carreteras". Ramiro Gamboa

necesita la gota más lejana en llegar al punto de análisis. (Tiempo de concentración).
Este método establece que el caudal Q=ciA/360, donde:

C- coeficiente de escorrentía (ver figura 5)
i- intensidad de la lluvia
A- área

El coeficiente de escorrentía es afectado por múltiples factores, entre ellos la intensidad de la lluvia, su duración y su frecuencia, el área drenada, su forma y su pendiente así como el uso que se le da al suelo. Pero "ninguno de los métodos conocidos para calcular el caudal de diseño toma en cuenta todos los factores mencionados anteriormente. El método racional tampoco los incluye en su totalidad, dando origen a algunas críticas que se le hacen a este método."[7]
En consecuencia, para efectos de este proyecto se consideraron los valores de coeficientes de escorrentía que se indican en la siguiente figura.

MÉTODO RACIONAL
VALORES DE "C"

Uso o tipo de suelo	Valor de "C"
Agricultura	
Suelo desnudo	0,20-0,60
Campos cultivados (suelo arenoso)	0,20-0,40
Campos cultivados (suelo arcilloso)	0,30-0,50
Pasto	
Praderas de césped	0,10-0,40
Áreas escarpadas con pastos	0,50-0,70
Regiones Arboladas / Bosques	
Zonas arboladas con terreno a nivel	0,05-0,25
Zonas boscosas con laderas empinadas	0,15-0,40
Zonas desnudas, abruptas y rocosas	0,50-0,90
Caminos	
Pavimento asfáltico	0,80-0,90
Pavimento de cantos rodados o concreto	0,60-0,85
Superficie de grava	0,40-0,80
Superficie con suelo nativo	0,30-0,80
Zonas Urbanas	
Residenciales, planas	0,40-0,55
Residenciales, moderadamente empinadas	0,50-0,65
Comerciales o céntricas	0,70-0,95

Figura 5 (Fuente: Ing. de Caminos Rurales. AID)

La intensidad de la lluvia, que es la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo, se determinará posteriormente, empleando una variación de la formula de Kirpich/Ramser; pero es importante hacer notar que hay muchas formulas que permiten calcular la intensidad de la lluvia a partir del *tiempo de concentración.* Se decidió utilizar la de Kirpich ya que es la que emplea el Ministerio de Obras Públicas y Transportes en todos sus diseños.
Como paso siguiente se determina el área tributaria. Esto se puede realizar empleando hojas o mapas cartográficos o imágenes satelitales. "Sin embargo solo una visita al terreno permite evaluar determinados detalles que no se observan en las fotografías o los mapas tales como nacientes de agua o pequeñas depresiones o prominencias del terreno".[8]
Es importante siempre considerar la presencia de canales artificiales existentes en el sitio que puedan llevar agua de una cuenca a la siguiente y alterar el cálculo de áreas y caudales preliminar.
El periodo de retorno, por su parte, es otro factor importante a considerar y se define como el número de años entre la ocurrencia de una tormenta de determinada intensidad y la ocurrencia de otra igual o mayor.

Cuneta

La cuneta es la zanja o canal que se ubica paralela a la línea de centro de la carretera y que está ubicada entre la calzada y el pie del talud. La función de la cuneta es evacuar las aguas de lluvia que vienen del camino. Idealmente se deberían colocar cunetas a ambos lados de la calzada con el fin de dar un manejo adecuado de las aguas, pero en caso de no ser posible se recomienda revestir con cemento los taludes de relleno con el fin de evitar la erosión. Existen diferentes tipos de cunetas (ver figura 6) pero la más utilizada es la triangular.

[7] Fuente: "Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores en carreteras". Ramiro Gamboa

[8] Fuente:" Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores en carreteras". Ramiro Gamboa

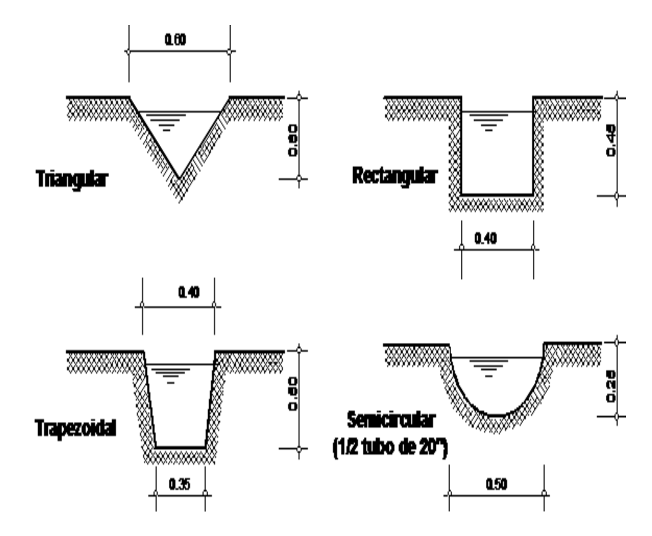


Figura 6. Tipos de Cunetas (*Fuente: Manual técnico: mantenimiento participativo en caminos rurales)*

Contracuneta

"Las contracunetas son zanjas, generalmente paralelas al eje de la carretera, construidas a una distancia mínima de 1.50 metros de la parte superior de un talud en corte"[9] (Ver figura 7).

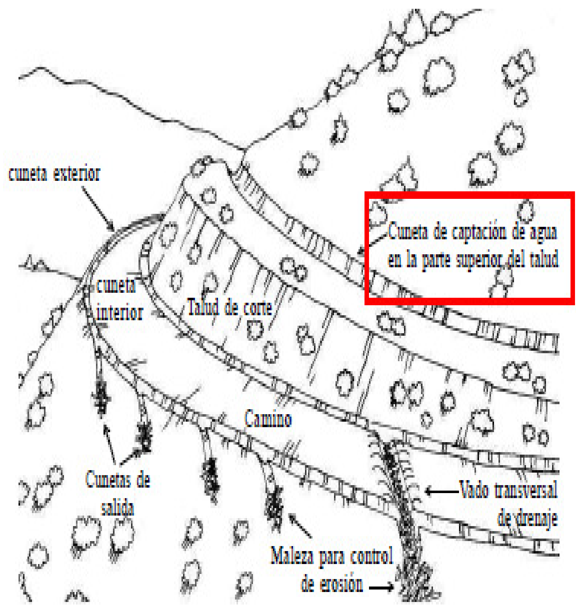


Figura 7. Detalle típico de contracuneta (Fuente: Ing. de Caminos Rurales. AID)

[9] Fuente*: Manual técnico: mantenimiento participativo en caminos rurales*

Alcantarilla

"Las alcantarillas se usan generalmente tanto como drenes transversales para desalojar el agua de cunetas, como para dejar pasar el agua por debajo de un camino en drenajes naturales y arroyos". [10] (Ver figuras 7 y 8).

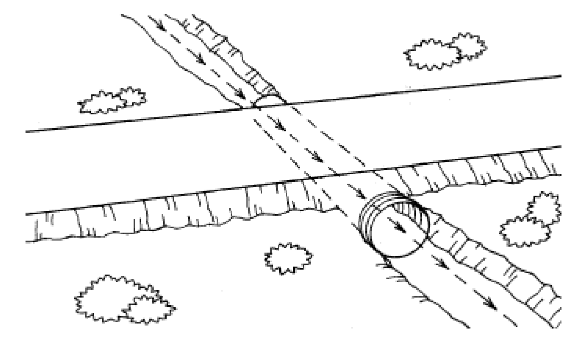


Figura 7. Correcta colocación de una alcantarilla (Fuente: Ing. de Caminos Rurales. AID)

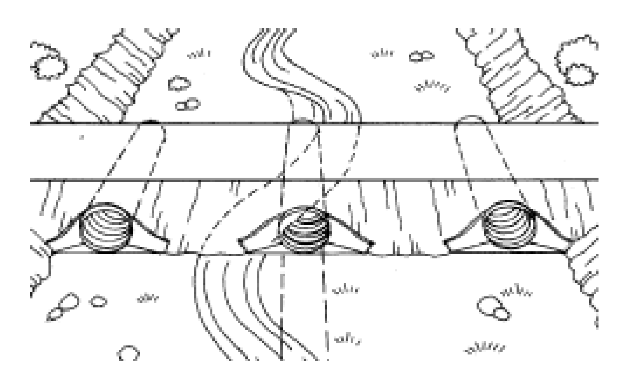


Figura 8. Distribución correcta de tubos múltiples (Fuente: Ing. de Caminos Rurales. AID)

La colocación adecuada de una alcantarilla y su correspondiente "encamado" son vitales para un buen funcionamiento del sistema. Material granular seleccionado o "canto rodado" deberá ser colocado y compactado adecuadamente de manera que soporte estructuralmente el empuje lateral que produce el tubo. (Ver figura 9).

Como recomendación constructiva y para facilitar la limpieza y aumentar la vida útil de un sistema de alcantarilla se recomienda que el diámetro mínimo de cualquier alcantarilla en carreteras sea de 80 cm.

[10] Fuente: "*Ing. de Caminos Rurales. AID*

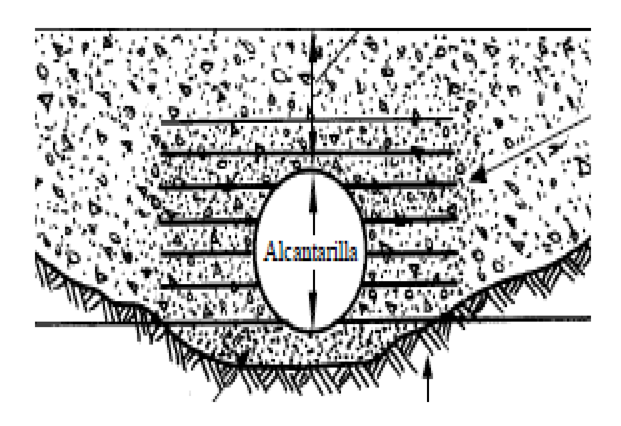


Figura 9. Correcta colocación de tubería. (Fuente: Ing. de Caminos Rurales. AID)

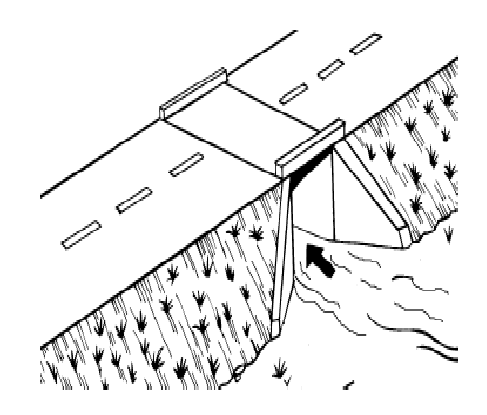


Figura 10, Cabezal típico. (Fuente: Ing. de Caminos Rurales. AID)

Cabezales

Son estructuras de concreto u otro material idóneo que se ubican a la entrada y a la salida de las alcantarillas. Buscan proteger los taludes de la socavación y encauzar las aguas. (Ver figura 10).

Tipos de caminos y estructura de pavimentos.

"La superficie de rodadura es el área o superficie destinada a la circulación de los vehículos, mientras que la estructura la constituyen el conjunto de sub base y superficie de rodadura."[11]

Caminos rurales

"Se considera como camino rural a una vía que se utiliza relativamente poco (TPD de alrededor de 400 vehículos), con bajas velocidades de diseño (menores a 80 kph) y con una geometría correspondiente."[12]

Un sistema de caminos rurales bien planeado, bien ubicado, bien diseñado y bien construido es muy importante para el desarrollo de las comunidades.

[11] Fuente: *Manual técnico: mantenimiento participativo en caminos rurales*

[12] Fuente: Ingeniería de Caminos Rurales. AID

Caminos en tierra

Son aquellos en los cuales los vehículos circulan sobre el terreno natural, el cual se encuentra libre de capa vegetal. Poseen sistemas de drenajes muy deficientes lo que hace que sean solo transitables durante la época seca.

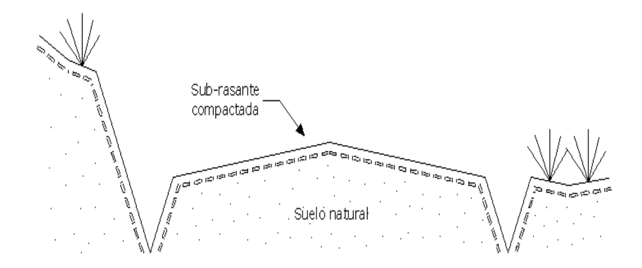


Figura 11. Sección típica de un camino en tierra (Fuente: Conservación de caminos: un modelo participativo)

Caminos en lastre

En este tipo de caminos los vehículos circulan sobre una superficie de rodamiento hecha con lastre o con un material seleccionado. A diferencia de los caminos en tierra, los caminos en lastre tienen un mejor sistema de evacuación de aguas. Generalmente los caminos de lastre están conformados por la subrasante y la sub base, la cual funciona también como superficie de rodamiento.

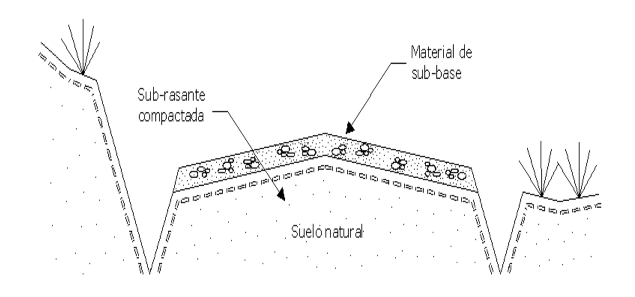


Figura 12. Sección típica de un camino de lastre. (Fuente: Conservación de caminos: un modelo participativo).

Caminos revestidos con material de base

Se acostumbran cuando el tránsito promedio diario es un poco mayor. En este tipo de camino las condiciones son mejores, en lo que se refiere a derechos de vía, alineamientos y sistemas de drenajes. Sus componentes principales son la sub rasante, la sub base y la base granular, la cual actúa como superficie de rodamiento.

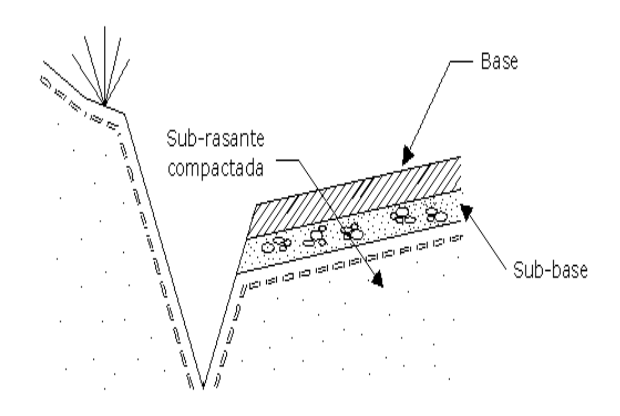


Figura 13. Detalle de una sección de camino en base. (Fuente: Conservación de caminos: un modelo participativo).

Caminos revestidos con tratamientos superficiales

En este tipo de obras, aparte de la sub rasante, la sub base y la base granular, se coloca algún tipo de tratamiento superficial a base de asfalto. Este tratamiento no le aporta capacidad estructural al conjunto; simplemente busca impermeabilizar la calzada, aumentándole así la vida útil al mismo tiempo que aumenta el confort del usuario al transitar por allí.

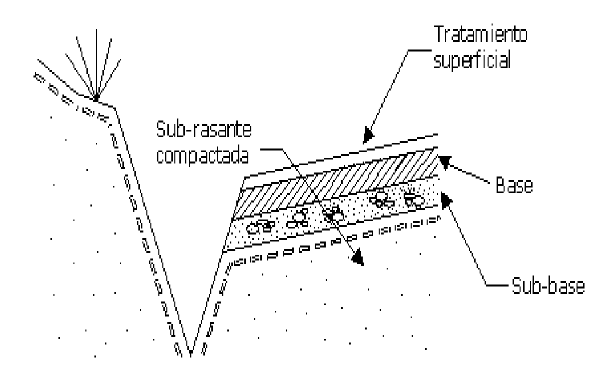


Figura 14. Detalle típico de una estructura de carretera con un TS (Fuente: Conservación de caminos: un modelo participativo)

Caminos con carpeta asfáltica

Se tiene un alto volumen de tránsito (3000 vehículos diarios). Generalmente se utilizan en vías principales o secundarias, ya no en caminos rurales. Su estructura la conforman la sub rasante del terreno, la sub base, la base y una carpeta asfáltica que, aparte de brindarle un mayor confort y seguridad al usuario, también aporta capacidad estructural al conjunto. Es necesario que la estructura de drenajes, cunetas y alcantarillas funcione adecuadamente ya que se debe evitar en la medida de lo posible que el agua penetre entre las capas de la estructura del pavimento.

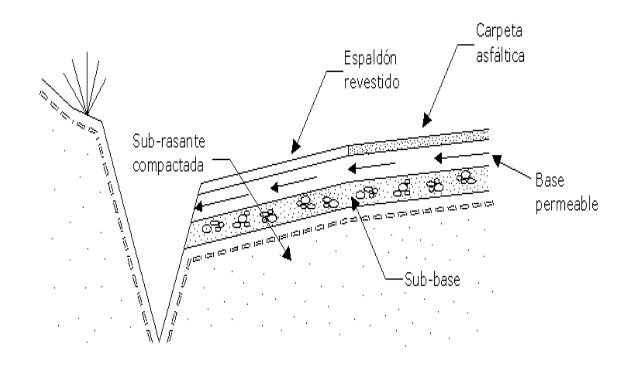


Figura 15. Detalle típico de una sección de camino con pavimento asfáltico. (Fuente: Conservación de caminos: un modelo participativo).

Caminos con losa de concreto hidráulico.

Para vías de alto tránsito (3000 vehículos diarios) principales o secundarias; es un tipo de estructura conformada generalmente por la sub rasante, la base, la sub base y una losa de concreto hidráulico. Igual que las vías con pavimento asfáltico, las de concreto requieren de un sistema de evacuación de aguas que funcione eficientemente de manera que el agua no se aloje entre las losas de concreto y produzca fracturas o grietas.

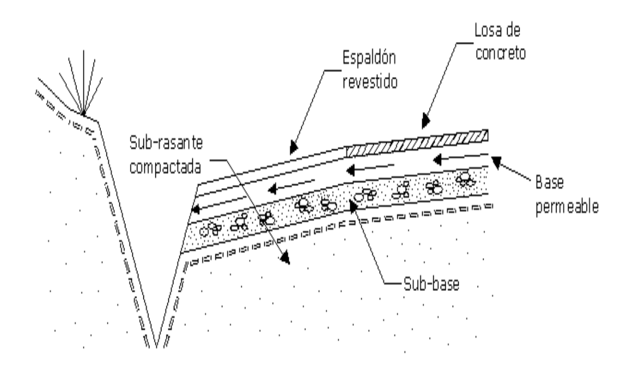


Figura 16. Detalle de sección típica de una estructura de pavimento con concreto hidráulico. (Fuente: Conservación de caminos: un modelo participativo).

Caminos con adoquines

Se utilizan principalmente en urbanizaciones o caminos de poco transito debido a que para su colocación no se requiere maquinaria especializada y a que se le puede dar uso el mismo día de concluida la obra. Además los costos de mantenimiento y reparación son mínimos.

El diseño geométrico

"Una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad."[13]

En una carretera el diseño geométrico es de las partes más importantes ya que a través de él se establece su configuración geométrica tridimensional, "con el propósito de que la vía sea funcional, segura y compatible con el medio ambiente."[14]

Una carretera se considerará funcional de acuerdo con su tipo, características geométricas y volúmenes de tránsito de manera que ofrezca una adecuada movilidad a través de una suficiente velocidad de operación.

El diseño geométrico de una carretera busca principalmente hacerla segura, a través de un diseño simple y uniforme.

Clasificación de las carreteras

Existen varias maneras de asignarle una clasificación a una carretera; una es de acuerdo con el tipo de terreno (montañoso, plano, escarpado etc.), según el tránsito promedio diario o según su velocidad de diseño.

El manual de "Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" clasifica las carreteras regionales centroamericanas en cinco tipos:

- *Autopistas Regionales:* Se consideran tales cuando los volúmenes de tránsito superan los 20.000 vehículos promedio por día. Por su calidad y elevado costo de construcción, se encuentran situadas en los alrededores de las principales ciudades de Centroamérica.
- *Carreteras troncales suburbanas:* Estas se diseñan para demandas vehiculares de entre 10.000 y 20.000 vehículos promedio diarios. Son principalmente rutas de interconexión.
- *Carreteras troncales rurales:* Las carreteras en esta categoría constituyen "los ejes principales y de mayor significancia en la estructura de la red regional centroamericana."[15] Pueden llegar a tener volúmenes de tránsito tan altos como 20.000 vehículos diarios pero tan bajos como 500 vehículos por día.
- *Carreteras colectoras suburbanas:* Estas carreteras se definen principalmente porque tienen una demanda de tránsito mucho menos que las troncales. Pueden manejar volúmenes de tránsito de hasta 10.000 vehículos promedio diarios y, además de servir como conexión entre las áreas urbanas, estas carreteras brindan acceso a terrenos y propiedades colindantes.
- *Carreteras colectoras rurales:* Este tipo de carreteras sirve al tránsito de vehículos con recorridos cortos que se desplazan entre pueblos vecinos.

[13] Fuente:"Diseño Geométrico de Carreteras". James Cárdenas

[14] Fuente:"Diseño Geométrico de Carreteras". James Cárdenas

[15] Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA

Capacidades y niveles de servicio

La capacidad de una carretera es el máximo volumen horario de vehículos que pueden circular por un punto o una sección de la carretera. El dimensionamiento de la capacidad es de suma importancia en el diseño de cualquier carretera ya que esto nos indica entre otros, el ancho de carriles, espaldones y alineamientos que la carretera debería contemplar.

"El flujo máximo del tránsito en una carretera es su capacidad, que ocurre cuando se alcanza la densidad crítica, que se mide en vehículos por kilómetro, y el tránsito se mueve a la velocidad crítica."[16] Conforme se alcanza la capacidad de una carretera, el flujo vehicular se vuelve inestable, ya que los espacios disponibles para maniobrar se reducen.

Para evitar que se presenten estas situaciones las carreteras se diseñan para operar a volúmenes horarios inferiores a su capacidad.

El Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales" establece seis niveles de servicio para el funcionamiento de las carreteras regionales. Estos niveles se identifican por las primeras seis letras del alfabeto (ver anexo 8), donde la "A" es un nivel de servicio totalmente libre mientras que la "F" corresponde a un flujo totalmente colapsado.

El diseñador deberá entonces elegir el nivel que mejor se adapta a las condiciones de cada proyecto.

[16] Fuente: "Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales" SIECA

El ancho de carriles

La escogencia del ancho de carril es una decisión que tiene un vínculo directo con la capacidad de la carretera. Es por eso que se debe tener siempre en cuenta la estructura del tránsito proyectado. Un ancho de carril de 3.6 m se considera como el ideal para las condiciones que presentan las carreteras de la red regional centroamericana. Esto, pues estudios han demostrado que "cuando el ancho de carril se disminuye a 3 m la velocidad relativa se disminuye en un 15%. Disminuciones en la capacidad significan mayores posibilidades de accidentes en situaciones azarosas de tránsito."[17]

La pendiente transversal

"La pendiente transversal de una carretera de primera clase con dos carriles en tangente, debe ser del 2% del centro de la sección hacia afuera."[18]

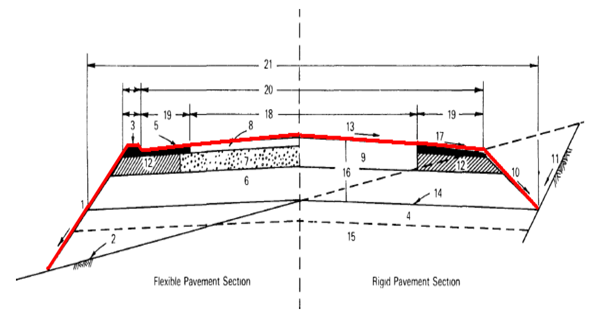


Figura 16i. Detalle de una sección de carretera (Fuente:AASHTO)

[17] Fuente: Towards Safer roads in developing countries. Overseas Development administration. UK

[18] Fuente: "Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales" SIECA

Espaldones

“Los hombros o espaldones son las franjas de carretera ubicadas contiguo a los carriles de circulación y en conjunto constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes.”[19]

Velocidad de diseño

“La velocidad de diseño o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado en condiciones de comodidad y seguridad.”[20]

“Las velocidades de diseño se van reduciendo con la gradualidad que impone la tipología utilizada, hasta los niveles inferiores que corresponden a los caminos vecinales o locales.”[21]

De acuerdo también con el promedio de tránsito diario que va a circular por una zona específica se puede definir la velocidad de diseño más apropiada.

[19] Fuente: “Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales” SIECA

[20] Fuente:”Diseño Geométrico de Carreteras”. James Cárdenas

[21] Fuente: “Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales” SIECA

Distancias de visibilidad

“Una de las características más importantes que deberá ofrecer el proyecto de una carretera al conductor de un vehículo es la de ver hacia adelante, tal que le permita realizar una circulación segura y eficiente.”[22]

La distancia de visibilidad se define como “la longitud continua en una carretera que es visible hacia adelante por el conductor de un vehículo que circula por ella.”[23]

La distancia de visibilidad de parada, es la longitud necesaria en una carretera para que un conductor que circula a una velocidad muy cercana a la velocidad de diseño pueda detener su vehículo antes de llegar a un obstáculo fijo.

Esta se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$d = 0.278vt \text{ (metros)}$$ [24]

Donde: v=velocidad inicial
t=tiempo de reacción (2.5s)

La distancia de frenado se mide desde la aplicación de los frenos hasta el momento en que el vehículo se detiene.

Esta se calcula por medio de la expresión que se muestra a continuación:

$$d = v^2/254f$$

Donde: v= velocidad inicial
f= coeficiente de fricción longitudinal entre la llanta y la superficie de rodamiento

Deben considerarse además las condiciones más adversas que el conductor puede enfrentar. Por eso el efecto de las pendientes, tanto

[22] Fuente:”Diseño Geométrico de Carreteras”. James Cárdenas

[23] Fuente:”Diseño Geométrico de Carreteras”. James Cárdenas

[24] Fuente: “Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales”, SIECA

positivas como negativas debe ser tomado en consideración a la hora de diseñar.
Para estos casos la distancia mínima se calcula de la siguiente manera:

$$d= v^2/254(f \pm g)$$

Donde: v=velocidad inicial
g=porcentaje de pendiente (positiva o negativa)

Curvas horizontales

"Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para el diseño."
Los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular mediante la siguiente fórmula:

$$R= v^2/127(e + f)$$

Donde: R=radio de giro
e=tasa de sobreelevación
f=factor de fricción lateral
v=velocidad de diseño (Ver anexo 10)

Distancia de visibilidad en curvas horizontales: "obstrucciones a la visibilidad, localizadas en el interior de las curvas horizontales, tales como edificaciones, muros, árboles y otros deben ser tomados en cuenta para aplicarles el tratamiento de despeje que acompaña a un buen diseño".[25]
Esta distancia se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

D=R(1-cos28.65*S/R)

Donde:
R= radio de curva
S= distancia de visibilidad de parada medida a lo largo de la curva

Alineamiento vertical

"El alineamiento vertical de una carretera está ligado estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra".[26]
La AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) divide los terrenos básicamente en tres tipos:

- *Terreno plano:* es el tipo de terreno en el que las condiciones topográficas para realizar los levantamientos, los diseños y la construcción son las más adecuadas.
- *Terreno ondulado:* Este tipo de terreno presenta constantes cambios de pendientes y en algunos casos presenta dificultades para cumplir con las distancias de visibilidad.
- *Terreno montañoso:* Es el tipo de terreno más complicado para trabajar no solo por la gran cantidad de movimientos de suelos que se deben realizar para hacer la vía transitable sino porque presenta cambios bruscos de pendientes y con mucha frecuencia.

[25] Fuente: "Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales" SIECA

[26] Fuente: "Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales" SIECA

Curvas verticales

Existen dos tipos de curvas verticales, las convexas y las cóncavas.

Para el cálculo de la primera se toman en cuenta principalmente dos factores; La diferencia algebraica de pendientes (G) y la distancia de visibilidad (S) y se las vincula por medio de la siguiente fórmula:

$$L = GS^2/404$$

Para el cálculo de las curvas cóncavas se toman en cuenta también la distancia de visibilidad (S) y la diferencia algebraica entre pendientes (G).

$$L = GS^2/(120 + 3.5S)$$

Las autoridades especializadas en el diseño de caminos recomiendan al momento de realizar un alineamiento horizontal seguir las siguientes recomendaciones:

- Las curvas cóncavas deberían evitarse en secciones en corte.
- Es recomendable evitar en la medida de lo posible el efecto montaña rusa o lo que es lo mismo realizar muchas curvas muy seguidas.

Intersecciones

"El elemento más crítico en el diseño geométrico de una intersección a nivel son los giros a la izquierda; debido a la alta peligrosidad de la maniobra que conlleva." La decisión de realizar o no giros a la izquierda deberá ser contemplada con mucho cuidado ya que la inclusión de estos en el diseño afectará directamente el nivel de servicio de la carretera. Es por esto que a la hora de diseñar estos giros se deben contemplar los carriles de giro a la izquierda, los que consisten en un carril adicional para almacenar el flujo de tránsito que en teoría haría uso del giro a la izquierda. Se debe diseñar un tramo para la transición del flujo vehicular hacia el nuevo carril, luego para el frenado de los vehículos y finalmente un espacio para el almacenamiento de los vehículos mientras esperan su turno para girar.

Velocidad	Longitud (m)			Longitud Almacenamiento (m)	
Km/h	Total	Longitud Carril para frenado	Transición	Volumen de diseño(vph)	Ls
50	75	30	45	≤ 60	15-25
65	100	40	60	61-120	30
80	135	60	75	121-180	45
100	165	75	90	> 180	60 (o más)

Figura 17. Longitudes de diseño para carriles de giro a la izquierda.

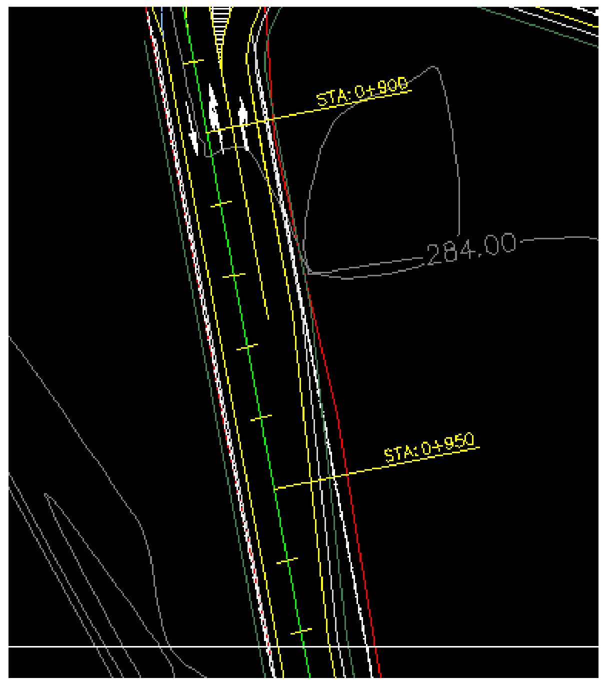


Figura 17i. Detalle en planta de un carril para giro. (Fuente: El Autor)

Estructura de Pavimento

Subrasante

Es la capa de terreno sobre la cual se apoyará la estructura del pavimento. La característica que determina las propiedades de los materiales que la componen se conoce como módulo de resiliencia (Mr). Este se determina a partir del CBR de la subrasante y lo que busca "es analizar las propiedades que tienen los materiales de comportarse bajo cargas dinámicas, como las ruedas de tránsito."[27] Una de las principales características del ensayo del módulo de resiliencia es que es muy sensible a las propiedades de los suelos. Por ejemplo; el contenido de humedad de un suelo tiene un fuerte impacto en el valor del módulo de resiliencia, el cual aumenta cuando disminuye el contenido de humedad del suelo. Por esto se vuelve complicado obtener un valor de Mr para un sitio determinado y en un momento determinado. Es por ello necesario efectuar un estudio del cambio del Mr con respecto a la humedad a lo largo del año, y determinar así un Mr promedio con el cual se diseñará.

Sub base

Es la capa secundaria de distribución de carga. Se ubica por encima de la subrasante y por debajo de la base. Los requisitos para el material que conforma la sub base están estipulados en el CR-77 y se recomienda entre otros, que presente un CBR mayor al 30% y que a la hora de colocar sea compactado a un 75% de la prueba Proctor Estándar. La sub base debe transmitir las cargas que provienen de la base, así como drenar el agua y a la vez controlar la ascensión capilar del agua hacia las capas superiores del pavimento. También tiene la importante función de "controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento."28

Base

"Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub base y a través de esta a la sub rasante y es la capa sobre la cual se coloca la superficie de rodadura."[29]

[27] Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Cap 4. Pag 7

[28] Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Cap 5, Pag 3

[29] Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Cap 5, Pag 4



Figura 17ii. Stock de material recién extraído del río y triturado. (Fuente: El autor)

Base Granular

Está conformada por material granular de buena calidad; este puede ser una combinación de piedra y grava. En el CR-77 se especifican con detalle las características que deben tener los materiales pétreos que pueden ser utilizados como base, sus graduaciones y niveles de compactación.

Base estabilizada

"Es la capa formada por la combinación de piedra o grava triturada combinadas con material de relleno, mezcladas con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización para mejorar las condiciones de estabilidad y resistencia." [30] Una base puede estabilizarse utilizando cemento Pórtland o cal pura.

Figura 18. Colocación del cemento sobre la base para luego ser recuperada y estabilizada. (Fuente: El autor)



Figura 19. Equipo empleado para estabilizar la base en sitio (Fuente: El autor)



Figura 20. Planta de base estabilizada. (Fuente: El autor)

[30] Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Cap 5, Pag 6

Superficie de rodamiento

Es la capa que se coloca sobre la base. “Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia.”[31] Además aumenta el confort al conducir ya que regulariza la superficie de ruedo.

Estabilización de taludes

Lo primero que se debe definir a la hora de realizar una estructura de retención de cualquier tipo son las propiedades de los suelos que se van a retener.

Posterior a eso se debe definir el tipo de estructura de retención que se va a construir, Dependiendo de si se va a estabilizar un relleno o si se va a retener un corte, los tipos de estructuras que se pueden construir varían mucho; desde gaviones hasta anclajes, pasando por los clásicos muros de concreto estructural o de mampostería, las opciones son numerosas.

Muros anclados

En el mercado existen principalmente dos tipos de muros que se pueden realizar mediante anclajes.

Uno es con anclajes activos (Ground anchors) mientras que el segundo tipo es el llamado *suelo cocido* o Soil nailing (con anclajes pasivos).

Las principales diferencias entre los distintos sistemas de anclajes se basan en el tipo de armadura con el que serán construidos y la forma en que serán tensados (Ver figura 21). Aunque la armadura puede estar constituida por distintos materiales principalmente se utilizan los siguientes dos tipos:

Alambres de acero (torones), los mismos están formados por varios cables de acero de siete tiras metálicas cada uno. Cada una de estas tiras posee un diámetro estándar de 15 mm. Los sistemas de anclajes que utilicen torones de acero prácticamente no tienen limitaciones en cuanto a la capacidad de carga que pueden resistir ni a su longitud.

*Varillas de acero corrugado, “*principalmente se encuentran en diámetros de 26 mm, 32 mm, 36 mm, 45 mm y 64 mm y en longitudes de hasta 18 m. Una varilla de 64 mm puede resistir cargas de hasta 2,077 kN”[32]

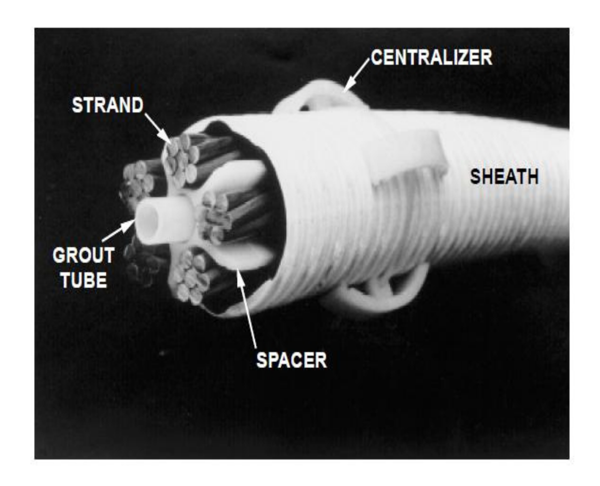


Figura 21. Detalle de una sección de cable para anclaje. (Fuente: United States Department of Transportation. Geotechnical Engineering Circular No.4)

[31] Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Cap 5, Pag 12

[32] Fuente: Fred Corrales. Rodio-Swissboring Costa Rica

Metodología

Para realizar los diseños que se propusieron como objetivo del presente proyecto de graduación lo primero que se debió hacer fue definir las condiciones del sitio, tanto para diseñar geométricamente las carreteras como para definir las capacidades, velocidades, anchos de carril y demás características propias de la vía por construir.

Se programaron entonces múltiples visitas al sitio, con el fin de ver de primera mano las condiciones del lugar donde se realizaría el proyecto, realizar los conteos vehiculares, consultas con los vecinos y los inventarios respectivos.

En el mes de Febrero, se realizaron varias visitas al sitio con el fin de ejecutar los conteos vehiculares, los cuales son el dato más importante que se ocupa para iniciar un diseño geométrico. Los conteos se realizaron en dos puntos de la ruta; uno frente a las oficinas del ICE-cóncavas y el otro en la entrada del relleno sanitario WPP Los Pinos, (Ver figura 22). De esta manera se buscaba obtener información del tránsito en los puntos que fueran más representativos.

Debido a que la ruta por intervenir atraviesa una zona que presenta un desarrollo socio-económico bajo, con muy pocas casas, sin servicios de salud ni hospitales cerca y en general con muy pocos habitantes, las "horas pico" no son las mismas que en el resto de las zonas del país; entiéndase entradas y salidas de colegios, trabajos, etc. En esta zona las horas pico son definidas por dos fenómenos interesantes de mencionar: los lapsos en las que llegan más camiones de basura a depositar sus desechos al relleno WPP (ver apéndice 1) y la hora en la que todos los camiones del ICE regresan al plantel. Tomando estas horas como referencia se realizaron los conteos vehiculares respectivos y se determinaron los TPDs para el diseño (Ver apéndice 2). Inicialmente se pensó diseñar tomando en consideración únicamente estos datos; pero luego de una reunión con los personeros del departamento de puentes del MOPT se varió el procedimiento. Esto porque ellos indicaron que ya se tiene listo el diseño de un puente para colocar al final del proyecto y sustituir el actual, que es uno peatonal únicamente. De realizarse esto, el nuevo proyecto debería contemplar que una parte del tránsito que viaja del Valle de Orosi hacia Paraíso podría desviarse y desplazarse por la nueva carretera. Por esto el nuevo TPD para el diseño debería contemplar ese flujo proyectado de vehículos (apéndice 3).

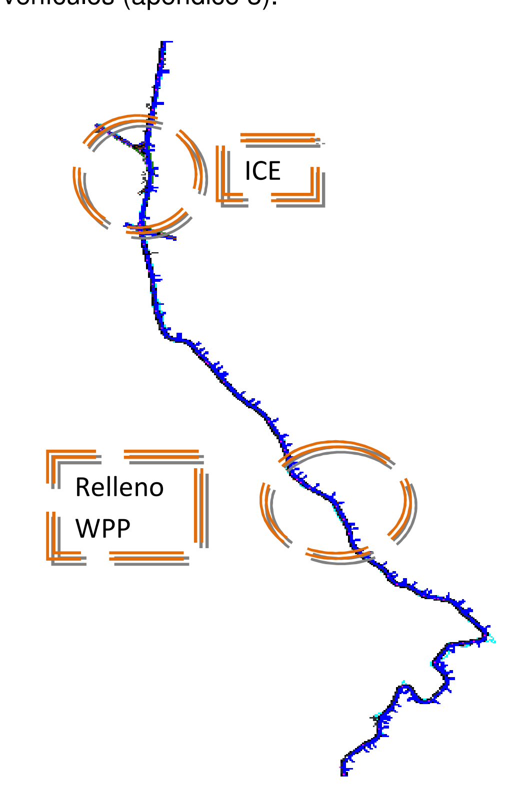


Figura 22. Ubicación de los puntos de conteos vehiculares. (Fuente: El autor)

Además de los conteos viales, se realizo un inventario de necesidades; esto es un resumen gráfico de todos los puntos de referencia importantes de la zona cercana a la ruta que se va a intervenir (Ver apéndice 4). Se marcan en un formato previamente establecido por el MOPT todas las iglesias, escuelas, ríos, puentes etc. de manera que todo el camino quede referenciado. El objetivo de esto es, en primer lugar buscar inventariar todos los caminos de Costa Rica, así cuando se ocupe información sobre alguna ruta, se tenga a mano; y en segundo lugar priorizar mediante el análisis del desarrollo socioeconómico de la zona cuáles rutas requieren una intervención urgente y cuáles no.

Paralelamente a esto, una cuadrilla de topografía del MOPT se dirigió al sitio del proyecto todos los días durante tres semanas para realizar el levantamiento topográfico, marcar los puntos y definir las elevaciones correspondientes (Ver apéndice 5). Ya con todos estos datos tabulados y listos se procedió a diseñar.

Una vez avanzado el diseño geométrico y cumpliendo con todos los pasos y normas que establece el *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico* se procedió al diseño hidrológico, por el método racional y al diseño hidráulico. Para esto primero se dividieron en secciones los terrenos que rodeaban el proyecto. Se midieron las aéreas aproximadas de cada una de esas secciones, se definieron las longitudes máximas de las cuencas y se determinó además su diferencia de elevaciones. Todo esto se realizó empleando la aplicación de Google para ver fotos tomadas desde satélites llamada Earth. Con esas aéreas, los datos de intensidades de lluvias para la zona del proyecto y los coeficientes de escorrentía que se determinaron de acuerdo con el tipo de suelo del lugar se calculó el caudal que de cada sección va a caer a la carretera.

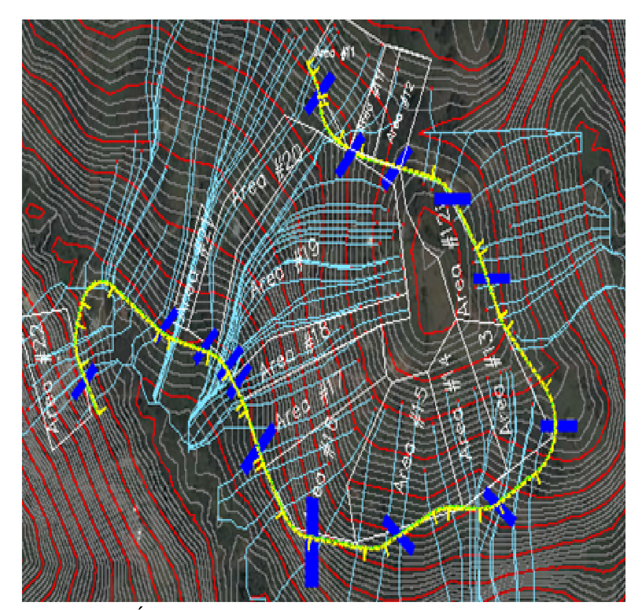


Figura 22i. Áreas de influencia para el diseño alternativo #2 (El autor)

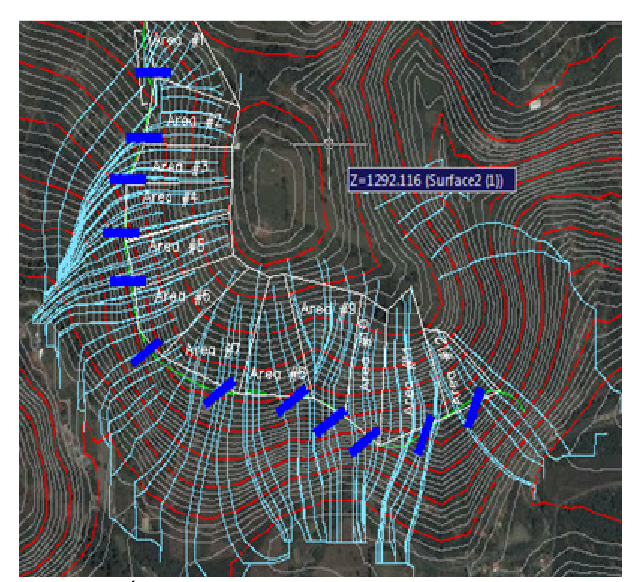


Figura 23. Áreas de influencia para el diseño alternativo #3 (El autor)

Luego se realizó el diseño hidráulico para las alcantarillas y cunetas triangulares. Se tomó en consideración el coeficiente de rugosidad para el material con el que van a ser construidas las cunetas así como la pendiente tanto de las alcantarillas como de las mismas cunetas.
Posteriormente se verificó que el lugar donde en un inicio se iban a colocar las alcantarillas fuera lo más adecuado, pues luego de definida la rasante del proyecto se debe confirmar que los puntos donde están las alcantarillas queden enterrados a la profundidad recomendada.
Como paso siguiente se inició con el diseño de las estructuras de pavimentos. Se decidió realizar tres diseños de pavimentos, uno flexible, otro rígido y otro semirrígido. Todos ellos se realizaron siguiendo las instrucciones y procedimientos para diseños que recomienda la Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos y la Secretaría de Integración Centroamericana en su "*Manual centroamericano para el diseño de pavimentos.*"
Primero se definieron los CBR de la Sub base y de la Base, para lo cual se decidió emplear los mínimos que permite el manual de *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes* CR-77, que son un 30% y un 80% respectivamente. Posteriormente se definió, mediante ensayos de laboratorio, el CBR de la subrasante el cual es de 5%. Con estos datos y mediante el uso de tablas, nomogramas y otras correlaciones que indica el Manual centroamericano para diseño de pavimentos, se calcularon los Módulos de Resiliencia de cada una de las capas.
Al mismo tiempo, se realizó el cálculo de los ejes equivalentes de diseño que se contempla circularán por el proyecto. Esto se hizo siguiendo el método que recomienda el SIECA en su manual de pavimentos. En este se descompone el flujo vehicular de acuerdo con el tipo de vehículos para así determinar el peso por eje que cada uno de ellos le imprime a la estructura. Se define además un periodo de diseño, una tasa de crecimiento y un espesor de losa (en el caso de pavimento rígido) o un número estructural (en el caso de pavimento flexible). Con estos datos y empleando una serie de tablas expuestas en el manual se define el número exacto de ejes equivalentes con el que se va a diseñar.
Posteriormente y siguiendo los pasos que indica el manual centroamericano de diseño de pavimentos en su capítulo 4 se diseñaron tanto las estructuras para el pavimento flexible como para el pavimento rígido.
Además se realizó el diseño de un pavimento flexible con base estabilizada, o pavimento semirrígido. Este busca aumentar el aporte estructural que le da la base al resto del conjunto mediante la adición de cemento o cal. Con esto se logran reducir los espesores y aumentar la capacidad de soporte de la estructura de pavimentos. Se le llama semirrígido porque la capa de base estabilizada no solo se comporta como una losa de concreto (pavimento rígido), sino que también se diseña como tal. Por encima de ella se coloca la carpeta de pavimento asfaltico (flexible) la cual se diseña de forma convencional. Es por eso que esta metodología de diseño no se puede situar ni dentro de los pavimentos flexibles ni dentro de los rígidos; es semirrígido.
El diseño de esta estructura funciona de la siguiente manera; primeramente se determinan los espesores de las capas de base, subbase y pavimento de la misma forma en que lo indica en AASHTO para pavimentos flexibles. (Ver figuras 35 y 36). Una vez con esos datos y sabiendo la capacidad estructural (SN) de cada una de las capas, se determina, del total de ejes equivalentes (W18), cuantos soporta la carpeta asfáltica (ver cuadro 12). El número de ejes restante es el que se emplea para diseñar el espesor de la base estabilizada. Esta se diseña siguiendo el método establecido de diseño de pavimentos rígidos (ver figuras 46 y 47).
Como se indico en un inicio, se decidió realizar dos propuestas de diseño alternativas, las cuales en conjunto con el diseño original buscarían presentarse como una solución integral para la zona. Esto porque el primer diseño si bien cumplía con la mayoría de las normas establecidas para el diseño geométrico de carreteras, en algunos casos llegaba muy al límite de lo permitido y el trazado actual no permitía mejorarlos.

Resultados

El diseño geométrico

Siguiendo los pasos que se indican en el “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales” lo primero que debe hacerse es determinar el tipo de carretera que se va a diseñar; partiendo del TPD (Transito Promedio Diario) como principal guía. Esto se puede realizar revisando los datos que se presentan en la siguiente figura (Figura 23i), en la cual se indica que carreteras con un TPD de entre 500 y 3000 vehículos diarios pueden considerarse como carreteras Colectoras, de tipo Suburbano o Rural.

No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES		COLECTORAS	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext:1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1-5 Ext. 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140	65-110	65-110
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480
13	Radio Mín. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195
14	Maximo Grado de Curva	5º53´ - 2º03´	5º53´ - 3º25´	8º29´ - 4º35´	12º44´-5º53´	12º44´-5º53´
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Figura 23i. Principales características de las carreteras según su TPDA. (Fuente: “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales” SIECA)

Luego se deben determinar los niveles de servicio de la carretera. Para eso se emplea la siguiente figura (Figura 23ii). En ella se definen los niveles de servicio de acuerdo con la topografía del terreno por donde pasa el proyecto y de acuerdo con la clasificación que anteriormente se hizo de la carretera.

Tipo de carretera	Tipo de Area y Nivel de Servicio Apropiado			
	Rural Plano	Rural Ondulado	Rural Montañoso	Urbano Suburbano
Autopista Especial	B	B	C	C
Troncales	B	B	C	C
Colectoras	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Figura 23ii. Clasificación del nivel de servicio según el tipo de carretera y topografía (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA)

La definición del ancho de carril es el paso siguiente. El SIECA, en su capítulo 4 define que para las carreteras de la red regional se debería diseñar un ancho de carril de mínimo 3.6 m. Para el presente proyecto se decidió diseñar con un carril de 3.65 m de ancho para incrementar la seguridad y el confort del usuario. Posteriormente se definieron los anchos de los espaldones y aceras. Esto empleando las especificaciones que para estos diseños propone el Manual Centroamericano. (Ver Figura 24).

	Tipo de Carretera	Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AR	Autopistas Regionales	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 – 2.5	
TS	Troncales Suburbanas	Controlado	Alto	1.0 -1.5	1.8 - 2.5	1.2 – 2.0
TR	Troncales Rurales	-	Alto	0.5 – 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 – 1.5
CS	Colectoras Suburbanas	-	Intermedio	0.5*	1.2 - 1.5	1.0 – 1.2
CR	Colectoras Rurales	-	Intermedio	-	1.2 – 1.5	1.0 – 1.2

Figura 24. Anchos de aceras y espaldones según el tipo de carretera. (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA)

Además se definieron las pendientes transversales de la carretera, las cuales, según el capítulo 4 en la sección 6 del "Manual Centroamericano" deben ser del 2%.

Finalmente se definió la velocidad de diseño. Esto se realizó en función del tránsito promedio y de la topografía del terreno. Para esto se emplea la siguiente figura (Figura 25).

Tipo de Terreno	Volúmenes de tránsito Diario ó TPDA, en vpd			
	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Figura 25. Velocidades de diseño según el tipo de terreno y el TPDA (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA)

Cuadro 1. Clasificacion de la carretera según SIECA (ver anexo 9)	
Tipo de carretera (cuadro resumen 1 SIECA)	Colectora suburbana
Nivel de servicio (cuadro 2.4 SIECA)	D
Ancho de carril	3.65m
Velocidad de diseño (cuadro 4.1 SIECA)	50 km/h
Espaldon (cuadro 4.3 SIECA)	1.2 - 1.5m
Capacidad y niveles de servicio	
FHP (cuadro 2.7 SIECA)	0.96
Flujo de servicio (Sfi)	622.44
fd (cuadro 2.6 SIECA)	1
fw (cuadro 2.8 SIECA)	1
fhv	0.57
V/C (cuadro 2.5 SIECA)	0.39

Luego de definir las principales características de la carretera se procede a verificar que para la velocidad de diseño y para el tipo de carretera escogida se cumpla con los radios de giro, las pendientes longitudinales y las distancias de visibilidad entre otros. El radio mínimo que se calculó fue el siguiente:

Cuadro 2. Radios mínimos de giro (V^2/127(e+f))	
Velocidad (km/h)	50
e (tasa de sobreelevacion)	0.08
f (factor de friccion lateral)	0.16
Radio de giro (m)	**82.02099738**

Posteriormente ese resultado fue verificado por medio de los datos presentes en la siguiente figura;

Velocidad de Diseño(Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Paralte máximo 4%			Peralte máximo 6%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	33.7	35	32° 44'	30.8	30	38° 12'
40	0.17	60.0	60	19° 06'	54.8	55	20° 50'
50	0.16	98.4	100	11° 28'	89.5	90	12° 44'
60	0.15	149.2	150	7° 24'	135.0	135	8° 29'
70	0.14	214.3	215	5° 20'	192.9	195	5° 53''
80	0.14	280.0	280	4° 05'	252.0	250	4° 35'
90	0.13	375.2	375	3° 04'	335.7	335	3° 25'
100	0.12	492.1	490	2° 20'	437.4	435	2° 38'
110	0.11	635.2	635	1° 48'	560.4	560	2° 03'
120	0.09	872.2	870	1° 19'	755.9	775	1° 29'

Velocidad de Diseño(Km/h)	Factor de Fricción Máxima	Peralte máximo 8%			Peralte máximo 10%		
		Radio (m)		Grado de Curva	Radio (m)		Grado de Curva
		Calculado	Recomendado		Calculado	Recomendado	
30	0.17	28.3	30	38° 12'	26.2	25	45° 50'
40	0.17	50.4	50	22° 55'	46.7	45	25° 28'
50	0.16	82.0	80	14° 19'	75.7	75	15° 17'
60	0.15	123.2	120	9° 33'	113.4	115	9° 58'
70	0.14	175.4	175	6° 33'	160.8	160	7° 10'
80	0.14	229.1	230	4° 59'	210.0	210	5° 27'
90	0.13	303.7	305	3° 46'	277.3	275	4° 10'
100	0.12	393.7	395	2° 54'	357.9	360	3° 11'
110	0.11	501.5	500	2° 17'	453.7	455	2° 31'
120	0.09	667.0	665	1° 43'	596.8	595	1° 56'

Figura 26. Radios mínimos de giro (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA)

Para efectos prácticos se opto por estandarizar la medida del radio de giro y se definió esta en 100m. Luego se determino la distancia de visibilidad de parada verificándola por todos los métodos que la teoría establece como necesarios para la determinación de este dato.

Cuadro 3. Distancia de visibilidad de parada (m)	
Dist 1 (m)	**34.75**
v (km/h)	50
t (s)	2.5
Dist 2 (m)	**61.51574803**
v (km/h)	50
Fact fricción	0.16
Dist 3 (m) +	**35.15185602**
Dist 3 (m) -	**246.0629921**
v (km/h)	50
G (%)	0.12
f	0.16

Esta distancia calculada mediante las fórmulas que indica el capítulo 4 del "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" fue después verificada por medio de la siguiente figura;

a) En Terreno Plano

Velocidad de Diseño	Velocidad de Marcha	Tiempo de Percepción y Reacción		Coeficiente de Fricción	Distancia de Frenado	Distancia de Parada para
Km/h	Km/h	Tiempo (s)	Distancia (m	f	(m)	(m)
30	30 - 30	2.5	20.8 - 20.8	0.40	8.8 - 8.8	30 - 30
40	40 - 40	2.5	27.8 - 27.8	0.38	16.6 - 16.6	45 - 45
50	47 - 50	2.5	32.6 - 34.7	0.35	24.8 - 28.1	57 - 63
60	55 - 60	2.5	38.2 - 41.7	0.33	36.1 - 42.9	74 - 85
70	67 - 70	2.5	43.8 - 48.6	0.31	50.4 - 62.2	94 - 111
80	70 - 80	2.5	48.6 - 55.6	0.30	64.2 - 83.9	113 - 139
90	77 - 90	2.5	53.5 - 62.4	0.30	77.7 - 106.2	131 - 169
100	85 - 100	2.5	59.0 - 69.4	0.29	98.0 - 135.6	157 - 205
110	91 - 110	2.5	63.2 - 76.4	0.28	116.3 - 170.0	180 - 246

b) En Pendiente de Bajada y Subida

Velocidad de Diseño	Distancia de Parada en Bajadas (m)			Distancia de Parada en Subidas (m)		
Km/h	3%	6%	9%	3%	6%	9%
30	30.4	31.2	32.2	29.0	28.5	28.0
40	45.7	47.5	49.5	43.2	42.1	41.2
50	65.5	68.6	72.6	55.5	53.8	52.4
60	88.9	94.2	100.8	71.3	68.7	66.6
70	117.5	125.8	136.3	89.7	85.9	82.8
80	148.8	160.5	175.5	107.1	102.2	98.1
90	180.6	195.4	214.4	124.2	118.8	113.4
100	220.8	240.6	256.9	147.9	140.3	133.9
110	267.0	292.9	327.1	168.4	159.1	151.3

Figura 27. Distancias de visibilidad (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA)

En resumen se determinó una distancia de visibilidad de parada en terreno plano de 32 m y para bajadas en zona montañosa de 72 m. Como paso siguiente se diseñaron las distancias de visibilidad en curvas horizontales.

Cuadro 4. Distancia de visibilidad en curva (R*(1-Cos 28.65*(S/R))	
d (m)	**72.16**
Radio de giro (m)	100
S (distancia de parada)	32
Velocidad (km/h)	50

Posteriormente se continúa con el alineamiento vertical; con el cálculo de las pendientes y las curvas cóncavas y en cresta.

Para lo primero nos referimos a la figura 28 donde, de acuerdo con la velocidad de diseño y el tipo de terreno se determina la pendiente máxima que debería llevar la rasante.

Clasificación Funcional	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño (Km/h) y Pendiente Máxima (%)						Pendiente Mínima (%)
		32	48	64	80	96	112	
AR Autopistas Regionales	Plano	-	-	-	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	-	5	4	4	
	Montañoso	-	-	-	6	6	5	
TS Troncales Suburbanas	Plano	-	8	7	6	5	-	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	9	8	7	6	-	
	Montañoso	-	11	10	9	8	-	
TR Troncales Rurales	Plano	-	-	5	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	6	5	4	4	
	Montañoso	-	-	8	7	6	5	
CS Colectoras Suburbanas	Plano	9	9	9	7	6	5	0.3 – 0.5
	Ondulado	12	11	10	8	7	6	
	Montañoso	14	12	12	10	9	7	
CR Colectoras Rurales	Plano	-	7	7	6	5	-	0.5
	Ondulado	11	10	9	8	6	-	
	Montañoso	16	14	12	10	-	-	

Figura 28. Pendiente máxima permitida. (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales")

Para el cálculo de las curvas verticales, se determinan primero las distancias mínimas de visibilidad de parada. (Ver Figura 29).

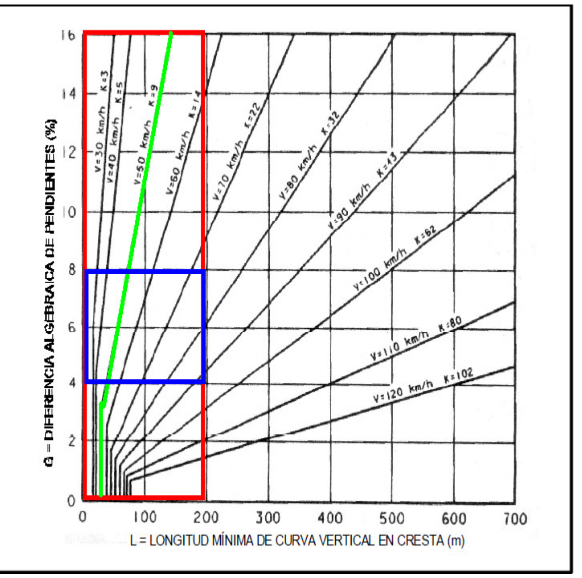


Figura 29. Distancia de visibilidad de parada para curvas verticales. (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales")

Estos datos obtenidos del nomograma anterior se pueden verificar por medio de la siguiente figura:

Velocidad de Diseño Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Distancia de parada para diseño (m)	Tasa de curvatura vertical K, long (m) por % de G*	Distancia mínima de adelantam. para Diseño (m)*	Tasa de curvatura vertical, K, long (m) por % de G*
30	30-30	30-30	3-3	217	50
40	40-40	45-45	5-5	285	90
50	47-50	60-65	9-10	345	130
60	55-60	75-85	14-18	407	180
70	67-70	95-110	22-31	482	250
80	70-80	115-140	32-49	541	310
90	77-90	130-170	43-71	605	390
100	85-100	160-205	62-105	670	480
110	91-110	180-245	80-151	728	570

Figura 30. Distancia de parada en curvas verticales a partir de la velocidad de diseño. (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales")

En resumen, para los diseños alternativos 2 y 3 se determinó emplear curvas verticales de 100 m de longitud y distancias de parada de entre 60 y 65 m. El diseño 1 por otro lado, se realizó apegándose a las características de sitio y tratando de mejorar lo existente sin incurrir en mayores modificaciones.

Cuadro 5. Curvas Verticales.	
Dist. visibilidad de parada (m)	60
Long. de curva (m)	100

Diseño de pavimentos

Para iniciar con el diseño de los pavimentos primero se debía establecer la cantidad de ejes equivalentes que corresponden al número de vehículos obtenidos mediante los conteos realizados.

Esta determinación es diferente si se trata de pavimentos flexibles (W18, ejes de 18 ton) o pavimentos rígidos (W82, ejes de 8.2 ton).

Se iniciará primero con el cálculo de los ejes equivalentes para el pavimento flexible.

El valor de la conversión de toneladas a KIPS de los vehículos (1 ton = 2.2046 Kip) así como su correspondiente factor equivalente de carga (ver apéndice 6), obtenidos mediante interpolación de valores, se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Factores equivalentes de carga			
Tipo de vehiculo	**Ton**	**Kips**	**Factor camion**
C-2+			
Delantero	1	2.2046	0.00038
Trasero	1	2.2046	0.00038
∑ (total)			**0.00076**
C-2			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	10	22.046	2.33346
∑ (total)			**2.61896**
C-3			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	16.5	36.3759	1.4439
∑ (total)			**1.7294**
C-4			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	23	50.7058	1.277668
∑ (total)			**1.563168**
T3-S2			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	16.5	36.3759	1.4439
Arrastre	16.5	36.3759	1.4439
∑ (total)			**3.1733**

Se determinó entonces, según datos obtenidos del laboratorio de materiales del MOPT, emplear una tasa de crecimiento del 4% y una vida útil del pavimento de 20 años.

Por lo tanto, se estableció un factor de crecimiento de 29.78 con la ayuda de la siguiente figura. (Ver figura 31).

Período de análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Figura 31. Factores de crecimiento anual. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.USAID)

Para el diseño de pavimentos debe considerarse la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final; la inicial (po) es función del diseño de la estructura de pavimento (flexible 4.2 o rígido 4.5) y de la calidad con que se construye la carretera y la final (pt) va en función de la categoría del camino (caminos principales 2.5 y caminos secundarios 2).

De ahí y considerando las características propias de la carretera por diseñar, como lo son el número de carriles y un índice de serviciabilidad de 2.2 y separando la totalidad de vehículos que transitan por la carretera en sus respectivos tipos, se obtuvieron los ESAL`S de diseño (ejes equivalentes de diseño) los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Cálculo de ejes equivalentes para pavimento flexible (por proyecciones)

TPDa	**2671**
Po	4.2
Pt	2
∆PSI	2.2
SN	4
Vida Util	20
# de Carriles	2

Tipo de vehículo	**% de vehículos**	**Cantidad de vehículos (A)**	**Factor de Crecimiento (B) (Tabla 3-20 SIECA)**	**Tránsito de diseño (C)**	**ESAL´aS (D) (Tablas 3-1, 3-18 SIECA)**	**ESAL´S de diseño**
C2+	85.66%	2287.9786	29.78	24869641	0.000760	18900.92715
C2	4.33%	115.6543	29.78	1257127.54	2.62	3292366.754
C3	7.71%	205.9341	29.78	2238441.89	1.7294	3871161.399
C4	1.76%	47.0096	29.78	510980.249	1.563168	798747.9741
T2-S1		0	29.78	0	0	0
T2-S2		0	29.78	0	0	0
T2-S3		0	29.78	0	0	0
T3-S1		0	29.78	0	0	0
T3-S2	0.54%	14.4234	29.78	156778.031	3.1733	497503.7257
T3-S3		0	0	0	0	0
∑ (total)		2671				8478680.78
					Factor de dirección (Tabla 3-21 SIECA)	**0.5**
					Factor de carril (Tabla 3-22 SIECA)	**1**
					ESALS final	**4239340.39**

Cuadro 7i. Calculo de ejes equivalentes para pavimento flexible y TS-3 (por conteos)

TPDa	**700**
Po	4.2
Pt	2
∆PSI	2.2
SN	4
Vida Util	20
# de Carriles	2

Tipo de vehiculo	**% de vehiculos**	**Cantidad de vehiculos (A)**	**Factor de Crecimiento (B) (Tabla 3-20 SIECA)**	**Transito de diseño (C)**	**ESAL´S (D) (Tablas 3-1, 3-18 SIECA)**	**ESAL´S de diseño**
C2+	85.66%	599.62	29.78	6517689.51	0.000760	4953.444031
C2	4.33%	30.31	29.78	329460.607	2.62	862844.1513
C3	7.71%	53.97	29.78	586637.709	1.7294	1014531.254
C4	1.76%	12.32	29.78	133914.704	1.563168	209331.18
T2-S1		0	29.78	0	0	0
T2-S2		0	29.78	0	0	0
T2-S3		0	29.78	0	0	0
T3-S1		0	29.78	0	0	0
T3-S2	0.54%	3.78	29.78	41087.466	3.1733	130382.8559
T3-S3		0	0	0	0	0
∑ (total)		700				2222042.885
					Factor de direccion (Tabla 3-21 SIECA)	**0.5**
					Factor de carril (Tabla 3-22 SIECA)	**1**
					ESALS final	**1111021.443**

Se estableció una confiabilidad (R) del 95% con una desviación estándar (So) igual a 0.35.

Para la determinación de la pérdida de serviciabilidad (∆PSI), se supuso un índice de serviciabilidad inicial de 4.2 y un índice de serviciabilidad final (Pt) de 2, resultando un ∆PSI de 2.2.

Posteriormente se obtuvieron los datos necesarios de los materiales para el diseño y se establecieron los siguientes parámetros:

Cuadro 8. Datos de materiales para el diseño	
CBR subrasante	5
CBR subbase	30
CBR base	80

El CBR o California Bearing Ratio de la subrasante se obtuvo mediante pruebas de laboratorio realizadas al material del sitio del proyecto (ver apéndice 7). Los CBR para subbase y base se determinaron de acuerdo a lo que indica el manual de *Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Carreteras y Puentes* CR-77 como condiciones mínimas para los materiales a utilizar en una estructura de carretera. Con estos datos y mediante el uso de varios nomogramas (ver Figuras 32-35) se determinaron para cada CBR y capa de material su respectivo módulo de resiliencia y coeficiente estructural.

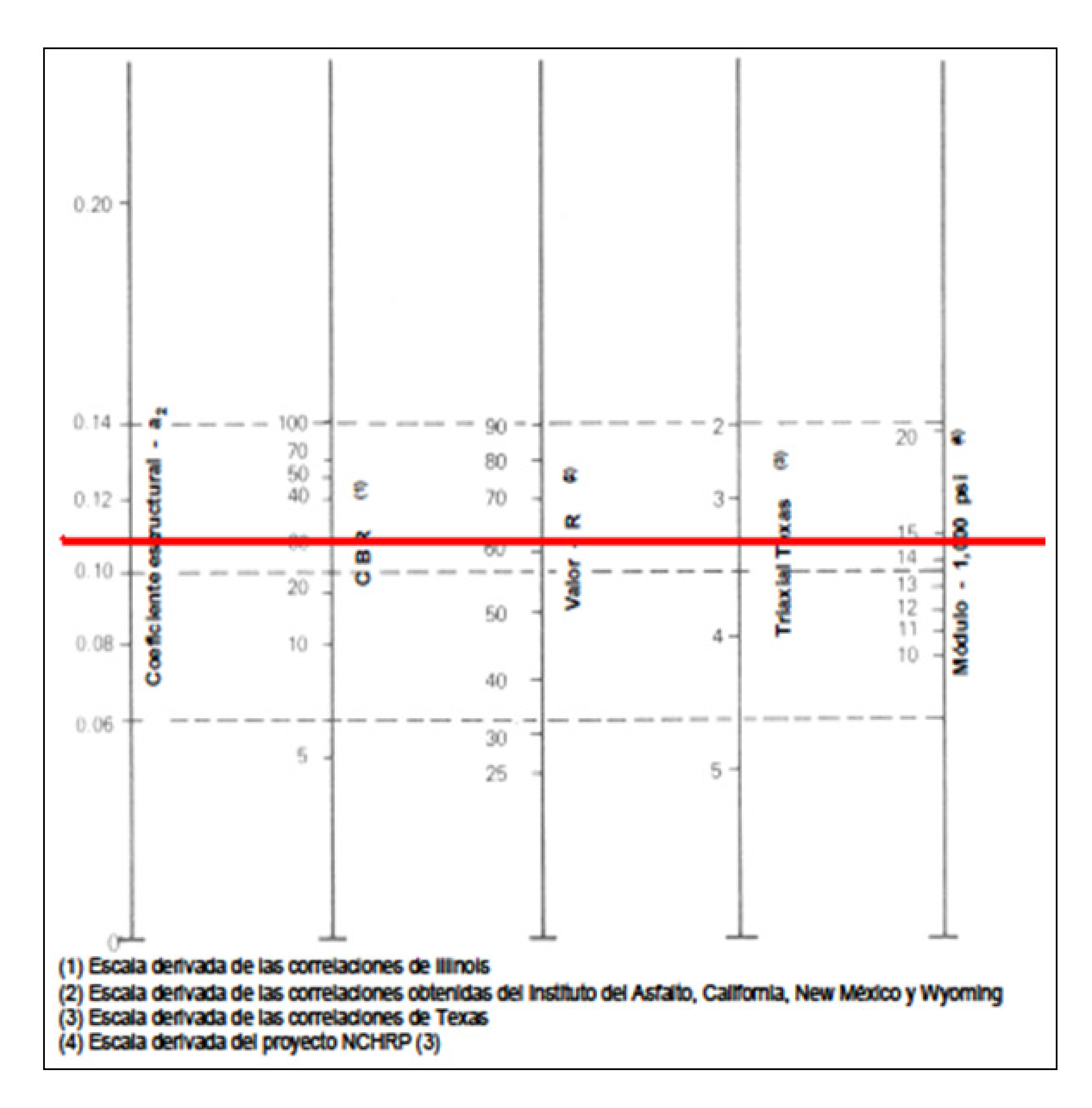


Figura 32. Determinación del Módulo de Resiliencia y el coeficiente estructural de la subbase a partir del CBR de la misma. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.)

Cuadro 9. Datos de materiales (por figura 32)	
CBR	**30**
a (coef. estructural)	**0.109**
Mr (psi)	**14900**

.

De la figura 32 se obtienen los datos necesarios de la subbbase para el diseño de espesores que son resumidos en el cuadro anterior. A continuación se procede a obtener los datos de Modulo de resilencia y coeficiente estructural para la base. (Ver figura 33).

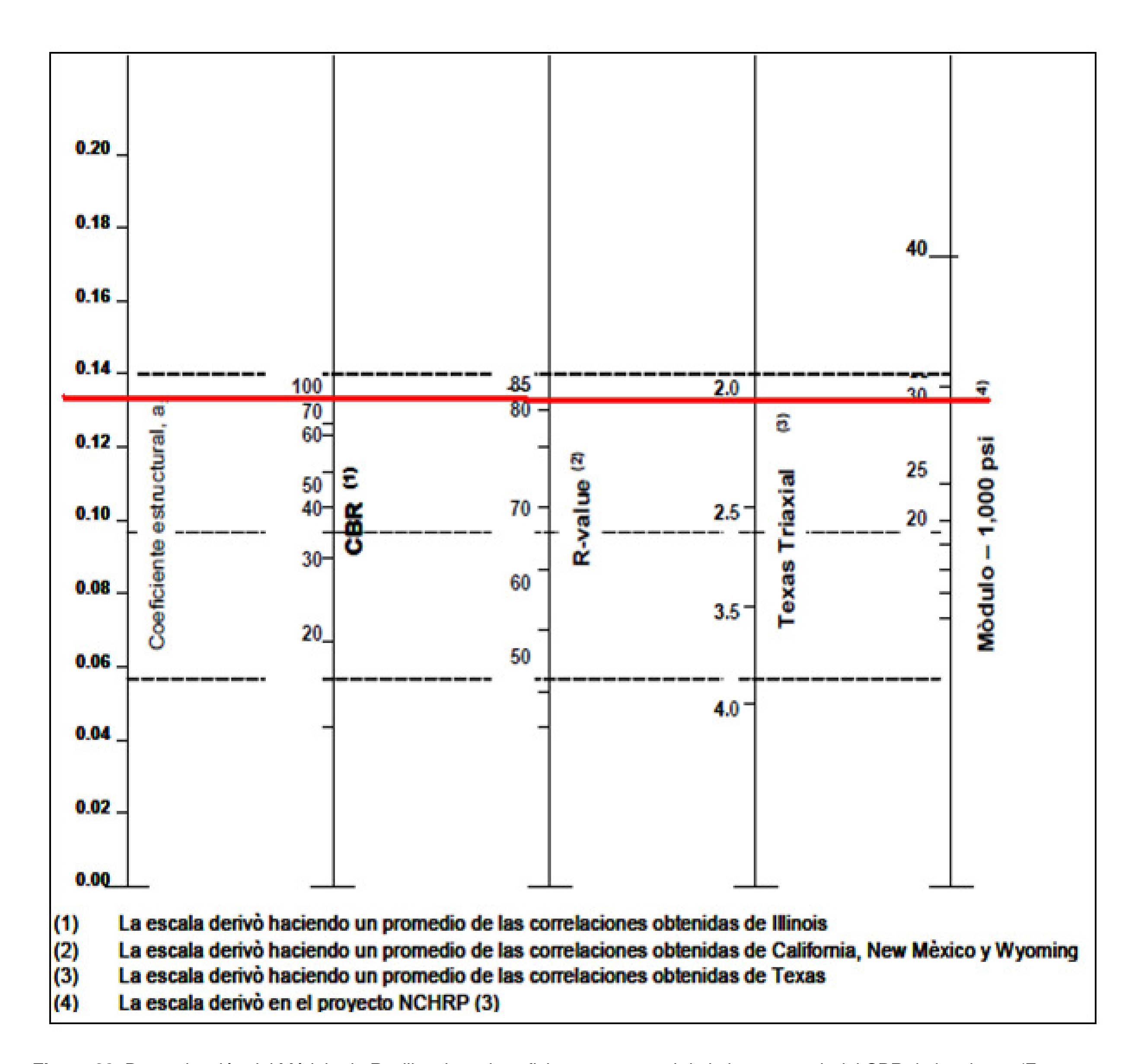


Figura 33. Determinación del Módulo de Resiliencia y el coeficiente estructural de la base a partir del CBR de la misma. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.)

Cuadro 10. Datos de materiales	
CBR	80
a (coef estructural)	0.135
Mr (psi)	30000

Los datos obtenidos en el cuadro anterior serán también empleados para la determinación de la estructura del nuevo

pavimento y sus espesores. Como paso siguiente, se procede a calcular el Mr para la subrasante. En este caso el resultado fue el siguiente.

Cuadro 11. Mr de la subrasante	
B	1500
CBR	5
Mr (psi)	7500

Como paso final antes de iniciar con el cálculo de espesores se deben definir la estabilidad Marshall y el coeficiente estructural para el concreto asfaltico.

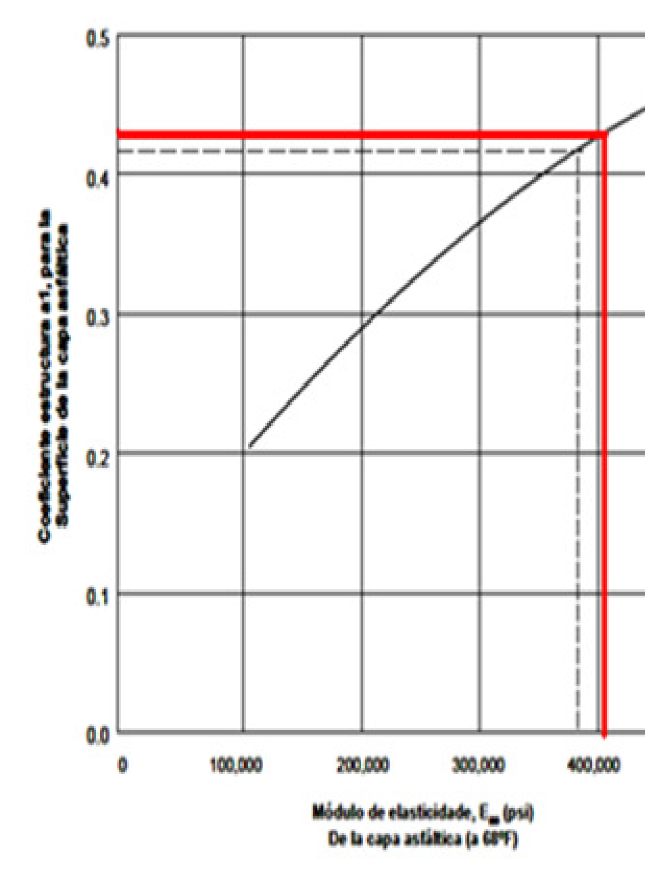


Figura 34. Modulo de elasticidad vs coef estructural. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos)

Luego de definidos todos los factores que son necesarios se procede a realizar el diseño de espesores de la estructura de pavimentos.

Cálculo de espesores de Pavimento flexible

Una vez lista toda la información de los materiales que serán empleados en la estructura de la carretera se procede al cálculo de los espesores por el método de la AASHTO (ver figura 35).

$$Log_{10}W_{18} = Z_r\ S_o + 9.36\ Log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{Log_{10}\left(\dfrac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \dfrac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32\ Log_{10}\ M_r - 8.07$$

Figura 35. Fórmula general para el cálculo del Número Estructural. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.)

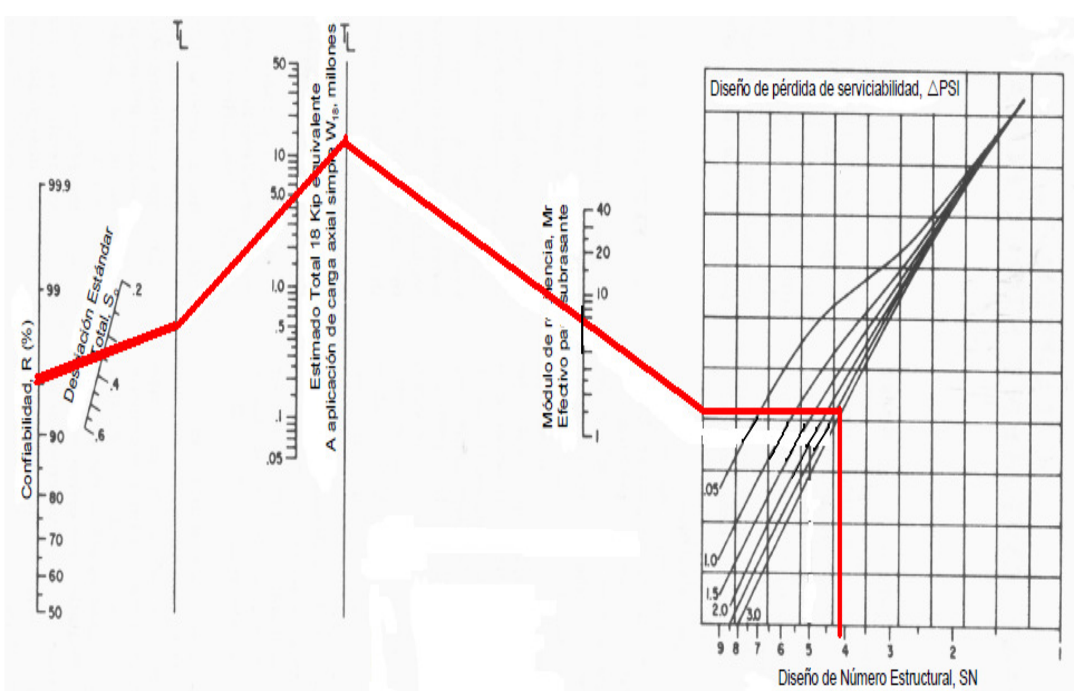


Figura 36. Nomograma para la determinación del número estructural. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.)

Los espesores resultantes y sus respectivos números estructurales están resumidos en los siguientes cuadros:

Cuadro 12. Espesores de pavimento (tpda 2671)	
Espesor de la carpeta	
SN1	2.459073961
d1	14.87154253
d1 (propuesto)	12
SN1*	1.984251969
W18	1323421.952
Espesor de la base	
SN2	3.077655121
d2	22.85797537
d2 (usado)	20
SN2*	0.956692913
Espesor de la subbase	
SN3	1.140767128
d3	33.22876725
d3 (usado)	35
SN3*	1.201574803
Espesor total (cm)	
67	

Cuadro 12i. Espesores de pavimento (tpda 700)	
Espesor de la carpeta	
SN1	2.012083754
d1	12.16831604
d1 (propuesto)	10
SN1*	1.653543307
W18	
Espesor de la base	
SN2	2.561149151
d2	18.97381765
d2 (usado)	20
SN2*	0.956692913
Espesor de la subbase	
SN3	0.83532633
d3	24.33175318
d3 (usado)	25
SN3*	0.858267717
Espesor total (cm)	
55	

Cuadro 12ii. Espesores de estructura para TS-3	
TS-3	
SN1	1.704304764
d1	10.30698596
d1 (propuesto)	0
SN1*	0
W18	
Espesor de la base	
SN2	2.20366711
d2	46.06843177
d2 (usado)	35
SN2*	1.674212598
Espesor de la subbase	
SN3	1.33599504
d3	38.91545186
d3 (usado)	40
SN3*	1.373228346
Espesor total (cm)	
75	

Cuadro 12iii. Espesores de estructura para BE-35	
Espesor de la carpeta	
SN1	1.733653094
d1	10.48447347
d1 (propuesto)	12
SN1*	1.984251969
W18	
Espesor de la base	
SN2	2.237857668
d2	5.301715862
d2 (usado)	20
SN2*	0.956692913
Espesor de la subbase	
SN3	0.110851707
d3	3.228937351
d3 (usado)	25
SN3*	0.858267717
Espesor total (cm)	
57	

Pavimento rígido

De igual manera se comienza con el cálculo de los ejes equivalentes; pero en este caso se inicia no con un número estructural propuesto, sino con un espesor de losa propuesto.

El valor de la conversión de toneladas a KIPS de los vehículos así como su correspondiente factor equivalente de carga (obtenidos mediante interpolación de valores), se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 13. Pavimento Rigido

Tipo de vehiculo	Ton	Kips	Factor camion
C-2+			
Delantero	1	2.2046	0.00038
Trasero	1	2.2046	0.00038
∑ (total)			**0.00076**
C-2			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	10	22.046	2.33346
∑ (total)			**2.6995794**
C-3			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	16.5	36.3759	1.4439
∑ (total)			**2.9080964**
C-4			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	23	50.7058	1.277668
∑ (total)			**3.5416734**
T3-S2			
Delantero	6	13.2276	0.2855
Trasero	16.5	36.3759	1.4439
Arrastre	16.5	36.3759	1.4439
∑ (total)			**5.5421434**

Se determino posteriormente una tasa de crecimiento del 4% y una vida útil del pavimento de 20 años. Por lo tanto, se estableció un factor de crecimiento de 29.78 con la ayuda de la siguiente figura. (Ver figura 37).

Período de análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa de crecimiento anual (g) (en %)						
		2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Figura 37. Factores de crecimiento anual. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

De ahí y considerando las características propias de la carretera por diseñar, como lo son el número de carriles y un índice de serviciabilidad de 2.2 y separando la totalidad de vehículos que transitan por la carretera en sus respectivos tipos, se obtuvieron los ESAL`S de diseño los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 14. Cálculo de ejes equivalentes para pav. rígido (por proyecciones)

Tipo de vehículo	% de vehículos	Cantidad de vehículos (A)	Factor de Crecimiento (B) (Tabla 3-20 SIECA)	Tránsito de diseño (C)	ESAL´S (D) (Tablas 3-1, 3-18 SIECA)	ESAL´S de diseño
TPDa	**2671**					
Po	4.2					
Pt	2					
ΔPSI	2.2					
SN	4					
Vida Util	20					
# de Carriles	2					
C2+	85.66%	2287.9786	29.78	24869640.99	0.000760	18900.92715
C2	4.33%	115.6543	29.78	1257127.545	2.70	3393715.623
C3	7.71%	205.9341	29.78	2238441.887	2.9080964	6509604.793
C4	1.76%	47.0096	29.78	510980.2491	3.5416734	1809725.156
T2-S1		0	29.78	0	0	0
T2-S2		0	29.78	0	0	0
T2-S3		0	29.78	0	í0	0
T3-S1		0	29.78	0	0	0
T3-S2	0.54%	14.4234	29.78	156778.031	5.5421434	868886.3297
T3-S3		0	0	0	0	0
∑ (total)		2671				12600832.83
					Factor de dirección (Tabla 3-21 SIECA)	**0.5**
					Factor de carril (Tabla 3-22 SIECA)	**1**
					ESALS final	**6300416.414**

Cálculo de espesores pavimento rígido

Antes de iniciar con el cálculo de los espesores de la estructura de pavimentos se deben definir una serie de factores que serán tomados en cuenta en el diseño;

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 – 99.9	80 – 99.9
Troncales	80 - 99	75 – 95
Colectoras	80 - 95	50 - 80

Figura 38. Niveles de confiabilidad en función del tipo de carretera. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z_r
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Figura 39. Valores de Zr en función de la confiabilidad R (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

Para pavimentos rígidos	0.30 – 0.40
En construcción nueva	0.35
En sobre-capas	0.40

Figura 40. Error estándar combinado (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

Calidad del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 25%
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Mediano	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Malo	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy malo	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Figura 40. Valor del coeficiente de drenaje. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

	hombro			
	Elemento de transmisión de carga			
	Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
Tipo de pavimento	si	no	si	no
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Reforzado continuo	2.9 – 3.2	------	2.3 – 2.9	------

Figura 41. Valores de coeficiente de transmisión de carga J. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

Tipo de agregado y origen	Módulo de Elasticidad E_c, Mpa	Módulo de Elasticidad E_c, Kg/cm²
Grueso – Ígneo	$E_c = 5,500 \times (f'_c)^{1/2}$	$E_c = 17,000 \times (f'_c)^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4,700 \times (f'_c)^{1/2}$	$E_c = 15,000 \times (f'_c)^{1/2}$
Grueso – Sedimentario	$E_c = 3,600 \times (f'_c)^{1/2}$	$E_c = 11,500 \times (f'_c)^{1/2}$
Sin Información	$E_c = 3,900 \times (f'_c)^{1/2}$	$E_c = 12,500 \times (f'_c)^{1/2}$

Figura 42. Módulo de elasticidad del concreto. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

Tipos de subbase o base	Factor de pérdida de soporte
Subbases granulares tratadas con cemento (Mr : de 7,000 a 14,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Subbases tratadas con cemento (Mr : de 3,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Bases asfálticas (Mr : de 2,500 a 7,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Subbases estabilizadas con asfalto (Mr : de 300 a 2,000 Mpa)	0.00 a 1.00
Estabilización con cal (Mr : de 150 a 1,000 Mpa)	1.00 a 3.00
Materiales granulares sin tratar (Mr : de 100 a 300 Mpa)	1.00 a 3.00
Suelos finos y subrasantes naturales (Mr : de 20 a 300 Mpa)	2.00 a 3.00

Figura 43. Valores del factor de pérdida de soporte Ls, por el tipo de base o subbase. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

Con base en todos los valores obtenidos anteriormente se determinó el módulo de reacción compuesta de la subrasante; mediante la siguiente figura (figura 44):

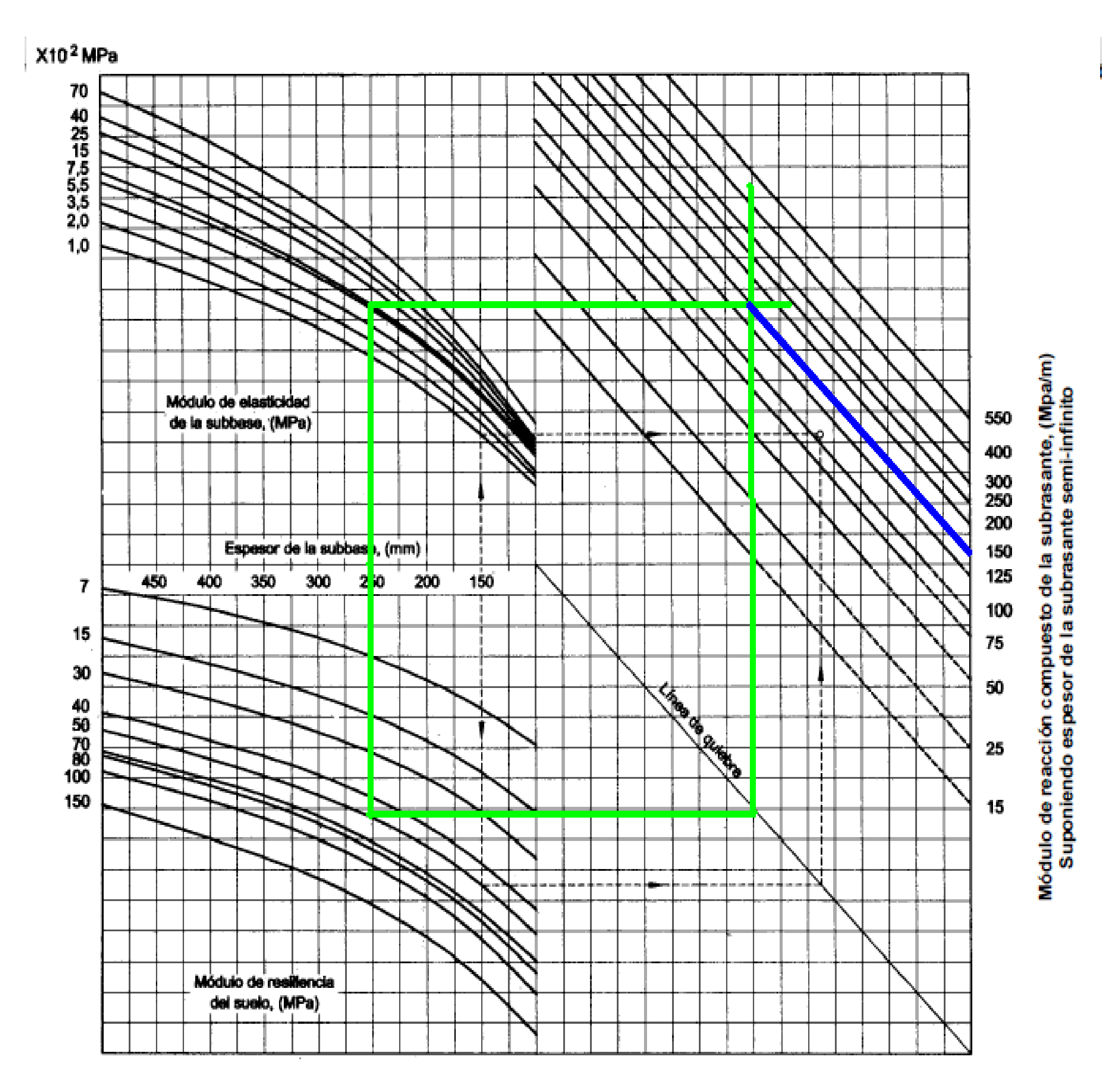


Figura 44. Nomograma para determinar el módulo de reacción compuesta de la subrasante. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

Como se muestra en la figura, el módulo de reacción compuesto dio como resultado 150 MPa/m. Este módulo se corrigió por la pérdida de soporte mediante la figura número 44, en la cual se estimó para una materia de subbase sin tratar, se supone un factor de pérdida igual a 2 para un material de sub base granular sin tratar. Por lo tanto, el módulo efectivo de reacción de la subrasante k es 16, según la siguiente figura.

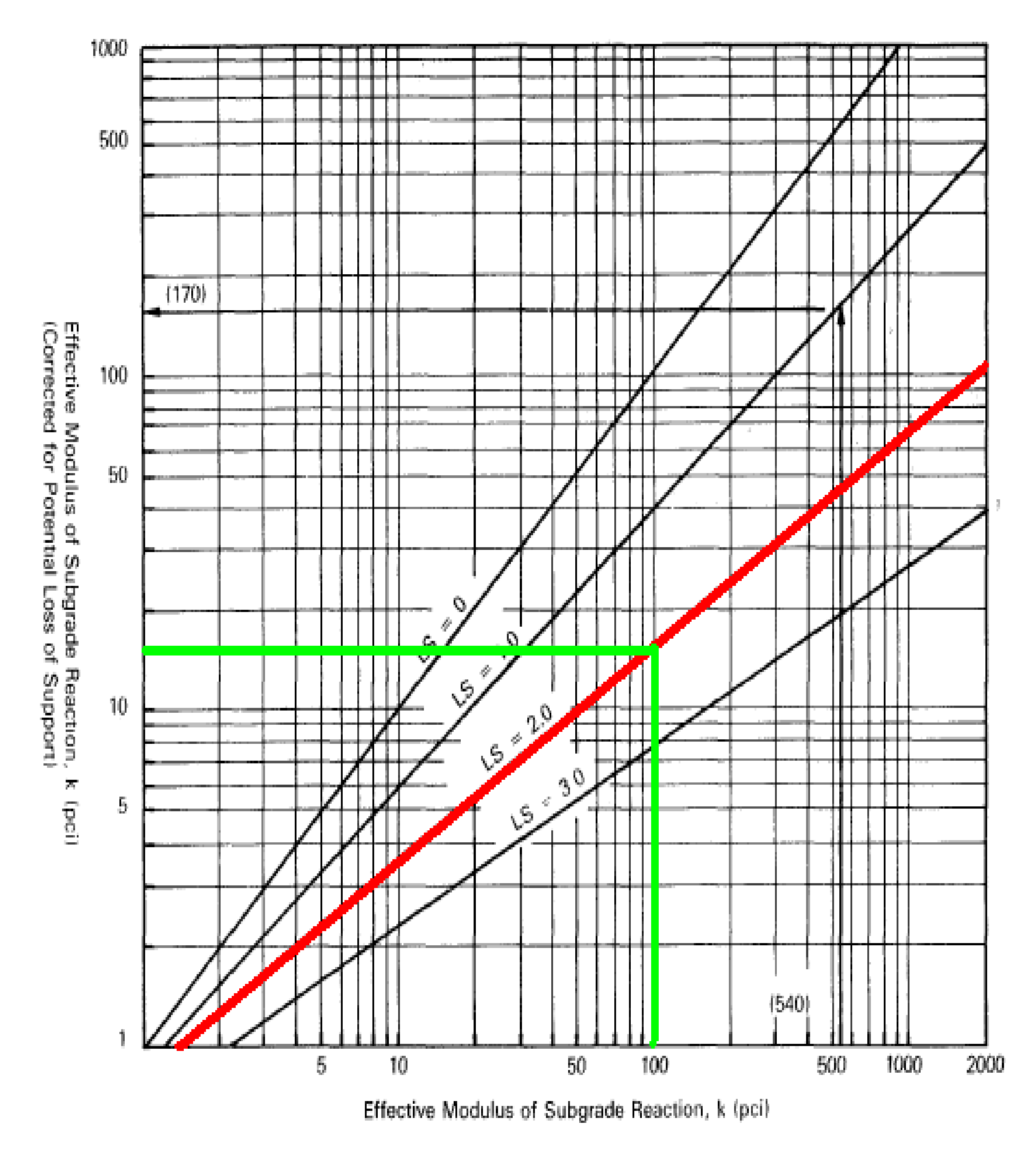


Figura 45. Nomograma para corregir el módulo de reacción efectivo por pérdida potencial de soporte de la subbase. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. USAID)

Ya con todos los datos listos y revisados se procede al diseño y a la verificación de los espesores de la losa de concreto y en general de la estructura del pavimento.

$$\log_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35\log_{10}(D+25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1+\frac{1.25 \times 10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22-0.32P_t)\times\log_{10}\left(\frac{M_r C_{dx}(0.09D^{0.75}-1.132)}{1.51 \times J\left(0.09D^{0.75}-\frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}}\right)}\right)$$

Figura 46. Fórmula general para el cálculo de espesor de la estructura. (Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos.)

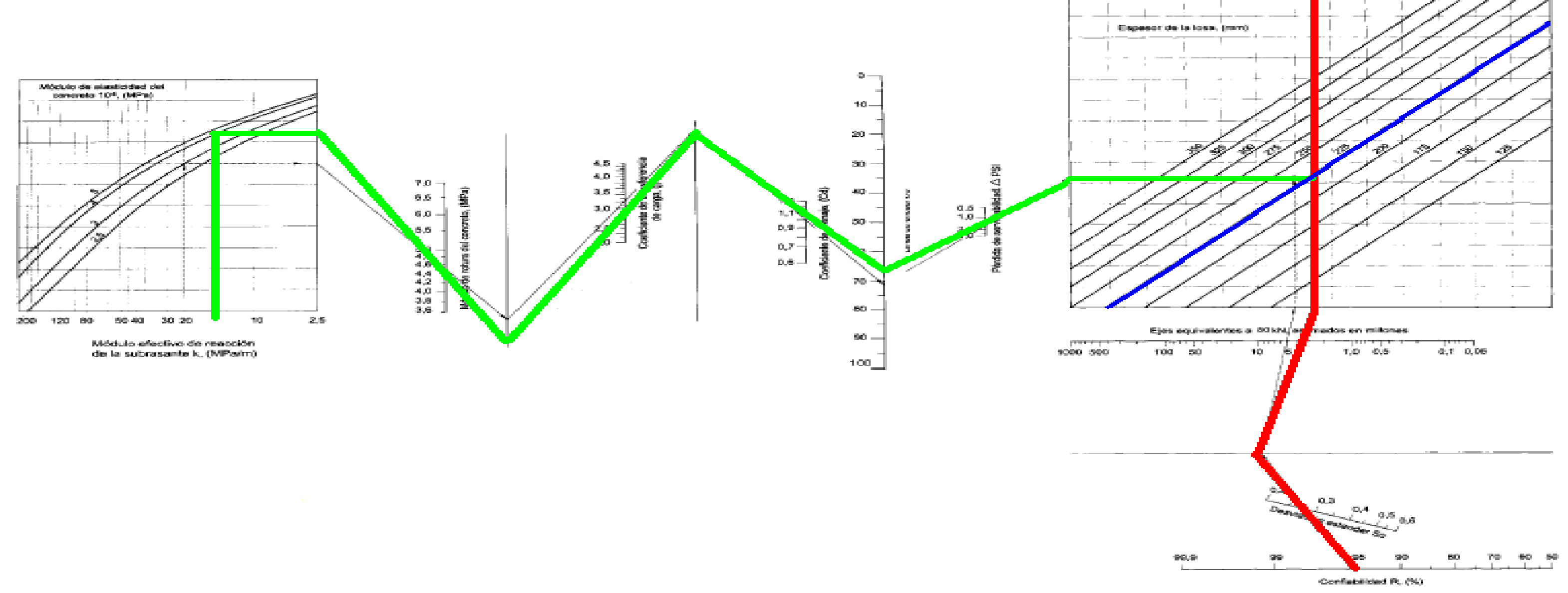


Figura 47. Nomograma para la determinación del espesor de losa. (Fuente: Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos)

Cuadro 15. Espesor de estructura y losa de concreto	
W82 (ESALs)	6300416.41
log10(W82)	6.80
ΔPSI	2.20
Pt	2.00
f'c (kg/cm^2)	350.00
MR (Mpa)	4.1
Ec Mod de elasticidad (Mpa)	65259.48
Ec (kg/cm^2)	209165.01
Zr	-1.65
So	0.35
R	0.95
Cd	1.10
J	2.80
K (Mpa/m)	12.00
D (mm)	212.02
Espesor estructura (cm)	46.2

Diseño hidrológico e hidráulico (Q=cia/360)

Empleando el método racional que indicaba que el caudal es producto de la multiplicación del coeficiente de escorrentía, la intensidad de la lluvia y el área de influencia, todo dividido entre 360 se determinaron los caudales teóricos que llegarían a la calle.

Inicialmente se definieron los tiempos de concentración o duración de la lluvia. Para esto se empleo la formula de Kirpich, la cual establece lo siguiente:

$$tc = 0.0195(\frac{L^3}{H})^{0.385}$$

donde L= longitud de la cuenca

H= diferencia de elevaciones

Cuadro 16. Determinación del tiempo de concentración (diseño principal)	
Alcantarilla	Duración de la lluvia
0+144	2.450953384
0+249	1.256143474
0+452	10.40145711
0+580	5.000872711
0+850	4.078529887
0+948	3.62330286
1+291	6.484194478
1+977	3.278397124
2+315	1.827885745
2+439	2.833219551
2+807	2.55110161
2+992	5.674146106
3+107	1.396313869
3+486	1.877219087
3+590	1.459725858
3+783	1.399816794
3+893	1.856198734
4+010	1.207947934

Como paso siguiente está la determinación de la intensidad de la lluvia. Para eso se empleó el nomograma presente en la figura 48, el cual establece para ciertos periodos de retorno y tiempos de concentración una intensidad de lluvia específica. Se definió además un periodo de retorno de 37 años, esto contemplando una vida útil del pavimento de 20 años, 10 años más producto de la rehabilitación y 7 años en la gestación y realización de la obra. Es importante anotar que aunque el nomograma especifica intensidades de lluvia para las zonas de Alajuela, Heredia y San José el autor me indicó que si se puede emplear para la zona de Cartago.

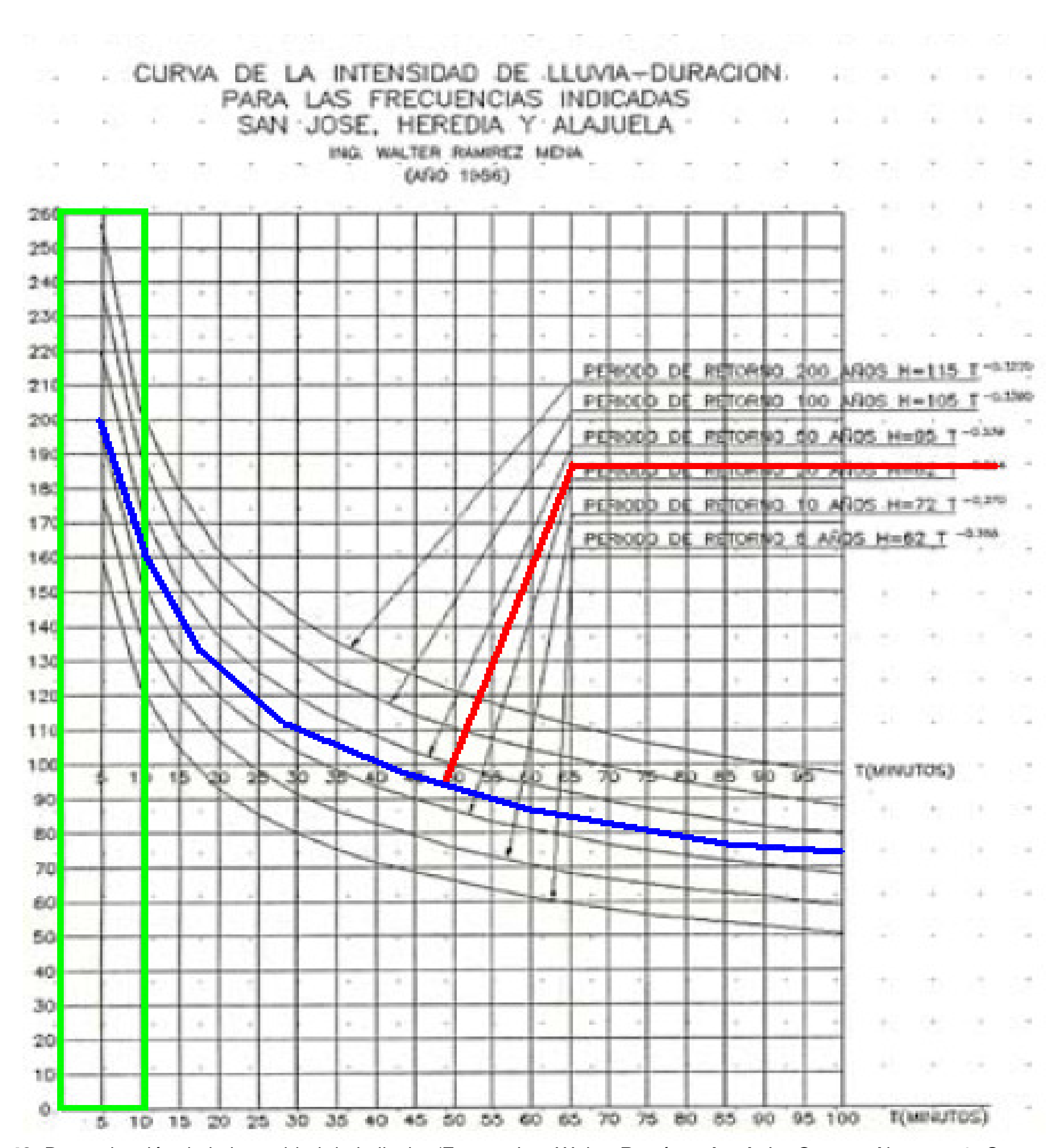
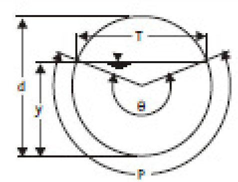


Figura 48. Determinación de la intensidad de la lluvia. (Fuente: Ing. Walter Ramírez. A y A. La Gaceta, Alcance #8, Gaceta #55 del 19 de Marzo del 2007.Republica de Costa Rica)

Propiedades geométricas de los tubos



y = profundidad = 1/2(1 - cos (1/2θ))d

A = área = 1/8(θ-senθ)d²

P = perímetro mojado = 1/2θd

R = radio hidráulico = 1/4(1-senθ/θ)d

T = ancho superficial = sen(1/2θ)d

D = profundidad media = 1/8(θ-senθ)d / sen(1/2θ)

d = diámetro interior del tubo

y/d	A/d2	P/d	R/d	T/d	D/d	AD1/2 / d5/2	AR2/3 / d8/3	θ
0.02	0.0037	0.2838	0.0132	0.2800	0.0134	0.0004	0.0002	0.5676
0.04	0.0105	0.4027	0.0262	0.3919	0.0269	0.0017	0.0009	0.8054
0.06	0.0192	0.4949	0.0389	0.4750	0.0405	0.0039	0.0022	0.9899
0.08	0.0294	0.5735	0.0513	0.5426	0.0542	0.0069	0.0041	1.1470
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.6000	0.0681	0.0107	0.0065	1.2870
0.12	0.0534	0.7075	0.0755	0.6499	0.0821	0.0153	0.0095	1.4150
0.14	0.0668	0.7670	0.0871	0.6940	0.0963	0.0207	0.0131	1.5340
0.16	0.0811	0.8230	0.0986	0.7332	0.1106	0.0270	0.0173	1.6461
0.18	0.0961	0.8763	0.1097	0.7684	0.1251	0.0340	0.0220	1.7526
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.8000	0.1398	0.0418	0.0273	1.8546
0.22	0.1281	0.9764	0.1312	0.8285	0.1546	0.0504	0.0331	1.9528
0.24	0.1449	1.0239	0.1416	0.8542	0.1697	0.0597	0.0394	2.0479
0.26	0.1623	1.0701	0.1516	0.8773	0.1850	0.0698	0.0461	2.1403
0.28	0.1800	1.1152	0.1614	0.8980	0.2005	0.0806	0.0534	2.2304
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.9165	0.2162	0.0921	0.0610	2.3186
0.32	0.2167	1.2025	0.1802	0.9330	0.2322	0.1044	0.0691	2.4051
0.34	0.2355	1.2451	0.1891	0.9474	0.2485	0.1174	0.0776	2.4901
0.36	0.2546	1.2870	0.1978	0.9600	0.2652	0.1311	0.0864	2.5740
0.38	0.2739	1.3284	0.2062	0.9708	0.2821	0.1455	0.0956	2.6569
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.9798	0.2994	0.1605	0.1050	2.7389
0.42	0.3130	1.4101	0.2220	0.9871	0.3171	0.1763	0.1148	2.8202
0.44	0.3328	1.4505	0.2295	0.9928	0.3353	0.1927	0.1284	2.9010
0.46	0.3527	1.4907	0.2366	0.9968	0.3539	0.2098	0.1349	2.9814
0.48	0.3727	1.5308	0.2435	0.9992	0.3730	0.2276	0.1453	3.0616
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	1.0000	0.3927	0.2461	0.1558	3.1416
0.52	0.4127	1.6108	0.2562	0.9992	0.4130	0.2652	0.1665	3.2216
0.54	0.4327	1.6509	0.2621	0.9968	0.4340	0.2850	0.1772	3.3018
0.56	0.4526	1.6911	0.2676	0.9928	0.4558	0.3055	0.1879	3.3822
0.58	0.4724	1.7315	0.2728	0.9871	0.4785	0.3268	0.1987	3.4630
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.9798	0.5022	0.3487	0.2094	3.5443
0.62	0.5115	1.8132	0.2821	0.9708	0.5269	0.3713	0.2200	3.6263
0.64	0.5308	1.8546	0.2862	0.9600	0.5530	0.3947	0.2306	3.7092
0.66	0.5499	1.8965	0.2900	0.9474	0.5804	0.4190	0.2409	3.7931
0.68	0.5687	1.9391	0.2933	0.9330	0.6096	0.4440	0.2511	3.8781
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.9165	0.6407	0.4700	0.2610	3.9646
0.72	0.6054	2.0264	0.2987	0.8980	0.6741	0.4971	0.2705	4.0528
0.74	0.6231	2.0715	0.3008	0.8773	0.7103	0.5252	0.2798	4.1429
0.76	0.6405	2.1176	0.3024	0.8542	0.7498	0.5546	0.2886	4.2353
0.78	0.6573	2.1652	0.3036	0.8285	0.7933	0.5854	0.2969	4.3304
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.8000	0.8420	0.6181	0.3047	4.4286
0.82	0.6893	2.2653	0.3043	0.7684	0.8970	0.6528	0.3118	4.5306
0.84	0.7043	2.3186	0.3038	0.7332	0.9605	0.6903	0.3183	4.6371
0.86	0.7186	2.3746	0.3026	0.6940	1.0354	0.7312	0.3239	4.7492
0.88	0.7320	2.4341	0.3007	0.6499	1.1263	0.7769	0.3286	4.8682
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.6000	1.2409	0.8294	0.3322	4.9962
0.92	0.7560	2.5681	0.2944	0.5426	1.3933	0.8923	0.3345	5.1362
0.94	0.7662	2.6467	0.2895	0.4750	1.6131	0.9731	0.3353	5.2933
0.96	0.7749	2.7389	0.2829	0.3919	1.9771	1.0895	0.3339	5.4778
0.98	0.7816	2.8578	0.2735	0.2800	2.7916	1.3060	0.3294	5.7156
1.00	0.7854	2.1416	0.2500	0.0000			0.3117	6.2832

Figura 52. Propiedades geométricas de los tubos. (Fuente: Manual de tubos de concreto. Holcim)

Cuadro 17. Caudal de diseño para cada alcantarilla (Diseño principal)	
Alcantarilla	**Q=Cia/360 (m^3)**
0+144	0.157578962
0+249	0.122487326
0+452	0.276961086
0+580	0.463688244
0+850	0.289718763
0+948	1.094948881
1+291	0.755311142
1+977	0.444265502
2+315	0.460579185
2+439	1.194205462
2+807	1.243119014
2+992	1.207885033
3+107	0.342118559
3+486	0.393609578
3+590	0.262455763
3+783	0.375781612
3+893	0.33318119
4+010	0.263537948

Con estos caudales se procedió a definir el diámetro de tubería para cada alcantarilla. Se buscó que el Y/D no fuera mayor de un 76%. Para esto se empleó la figura anterior (Fig. 52) la cual indica que para una determinada combinación de radios hidráulicos y áreas y proponiendo un diámetro de tubería al azar, se obtiene un tirante máximo permitido; este debería encontrarse en un rango de entre 0.62 y 0.76. De esta manera, se comprobó con distintos diámetros de tubería hasta dar con el que cumplía con el tirante requerido.

Para esto se empleó la formula de Manning,

$$Q= \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n}$$

la cual puede modificarse de manera que se exprese en términos del diámetro de la tubería.

$$\frac{nQ}{S^{1/2}}=\frac{AR^{2/3}}{D^{8/3}}$$

Donde: n= coeficiente de rugosidad
s= pendiente de la alcantarilla
R= radio hidráulico
A= área hidráulica
D= diámetro del tubo

Cuadro 18. Diametros de tuberia para diseño principal (m)	
Alcantarilla	Diametro alcantarilla (m)
0+144	0.35
0+249	0.3
0+452	0.4
0+580	0.5
0+850	0.45
0+948	0.7
1+291	0.6
1+977	0.5
2+315	0.5
2+439	0.7
2+807	0.75
2+992	0.75
3+107	0.45
3+486	0.5
3+590	0.4
3+783	0.5
3+893	0.45
4+010	0.4

A continuación se presentan los datos de caudales y diámetros de tuberías empleados para el diseño alternativo #1.

Cuadro 19. Caudal de diseño para cada alcantarilla (Diseño #1)	
Alcantarilla	**Q=Cia/360 (m^3)**
3+241	1.076612111
3+426	0.422561111
3+603	0.641103278
3+807	1.190630778
4+000	1.255403889
4+300	1.328989833
4+600	1.780107361
4+950	1.716552994
5+135	1.618327533
5+290	1.075838161
5+340	0.512943528
5+420	1.620953111
5+542	0.427064511
5+850	1.087996472

Cuadro 20. Diametros de tuberia para diseño #1 (m)	
Alcantarilla	Diametro alcantarilla (m)
3+241	0.7
3+426	0.5
3+603	0.6
3+807	0.75
4+000	0.75
4+300	0.75
4+600	0.8
4+950	0.8
5+135	0.8
5+290	0.7
5+340	0.55
5+420	0.8
5+542	0.45
5+850	0.65

A continuación se presentan los datos de caudales y diámetros de tuberías empleados para el diseño #2.

Cuadro 21. Caudal de diseño para cada alcantarilla (Diseño #2)	
Alcantarilla	**Q=Cia/360 (m^3)**
3+300	0.864157763
3+450	0.889155147
3+580	0.656132846
3+700	0.864396813
3+850	0.871209014
4+050	0.994072139
4+300	1.180514164
4+500	0.992128958
4+650	1.204518593
4+750	0.775822954
5+000	1.183864306
5+150	0.581552125

Cuadro 22. Diametro de tuberia para diseño #2 (m)	
Alcantarilla	Diametro alcantarilla (m)
3+300	0.65
3+450	0.65
3+580	0.6
3+700	0.65
3+850	0.65
4+050	0.7
4+300	0.7
4+500	0.7
4+650	0.75
4+750	0.65
5+000	0.75
5+150	0.55

Cuadro 23. Dimensionamiento de cunetas. Diseño principal.									
				Seccion triangular					
cuneta	Caudal (m3/seg)	pendiente de cuneta	n	z	x	y	y corregido	y ajustado	t
1	0.1788	1.75%	0.011	1.500	0.500	0.123	0.273	0.250	0.500
2	0.0500	1.75%	0.011	1.500	0.500	0.057	0.207	0.200	0.400
3	0.2770	1.75%	0.011	1.500	0.500	0.160	0.310	0.300	0.600
4	0.4637	1.00%	0.011	1.500	0.500	0.257	0.407	0.400	0.800
5	1.5349	3.50%	0.011	1.500	0.500	0.363	0.513	0.500	1.000
5i	0.7553	3.25%	0.011	1.500	0.500	0.242	0.392	0.350	0.700
6	0.4443	4.00%	0.011	1.500	0.500	0.166	0.316	0.300	0.600
7	0.4606	1.25%	0.011	1.500	0.500	0.240	0.390	0.350	0.700
8	0.3000	2.25%	0.011	1.500	0.500	0.155	0.305	0.300	0.600
9	0.4110	6.25%	0.011	1.500	0.500	0.138	0.288	0.300	0.600
10	1.0658	2.35%	0.011	1.500	0.500	0.328	0.478	0.450	0.900
11	1.2431	7.00%	0.011	1.500	0.500	0.260	0.410	0.400	0.800
12	1.2079	15.00%	0.011	1.500	0.500	0.203	0.353	0.300	0.600
13	0.3421	1.75%	0.011	1.500	0.500	0.181	0.331	0.300	0.600
14	0.3936	15.00%	0.011	1.500	0.500	0.104	0.254	0.250	0.500
15	0.2625	3.00%	0.011	1.500	0.500	0.132	0.282	0.250	0.500
16	0.3758	15.00%	0.011	1.500	0.500	0.101	0.251	0.200	0.400
17	0.3332	15.00%	0.011	1.500	0.500	0.094	0.244	0.200	0.400
18	0.2635	15.00%	0.011	1.500	0.500	0.081	0.231	0.200	0.400
19	0.1733	15.00%	0.011	1.500	0.500	0.063	0.213	0.200	0.400

Cuadro 24. Dimensionamiento de cunetas. Diseño #1 (3+150 en adelante)									
				Seccion triangular					
cuneta	Caudal (m3/seg)	pendiente de cuneta	n	z	x	y	y corregido	y ajustado	t
13	0.3421	1.75%	0.011	1.500	0.500	0.181	0.331	0.350	0.700
14	0.3936	3.75%	0.011	1.500	0.500	0.157	0.307	0.300	0.600
15	0.2625	3.75%	0.011	1.500	0.500	0.123	0.273	0.250	0.500
16	0.3758	8.75%	0.011	1.500	0.500	0.118	0.268	0.250	0.500
17	0.3332	1.00%	0.011	1.500	0.500	0.211	0.361	0.350	0.700
18	0.2635	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.087	0.237	0.250	0.500
19	0.1733	1.50%	0.011	1.500	0.500	0.126	0.276	0.250	0.500
20	2.8000	11.00%	0.011	1.500	0.500	0.369	0.519	0.500	1.000
21	2.8000	11.00%	0.011	1.500	0.500	0.369	0.519	0.500	1.000
22	0.1733	2.30%	0.011	1.500	0.500	0.111	0.261	0.250	0.500
23	0.4000	2.30%	0.011	1.500	0.500	0.184	0.334	0.350	0.700
24	0.3400	2.30%	0.011	1.500	0.500	0.166	0.316	0.300	0.600
25	0.9000	2.30%	0.011	1.500	0.500	0.299	0.449	0.450	0.900

Cuadro 25. Dimensionamiento de cunetas. Diseño #2 (3+150 en adelante)									
				Seccion triangular					
cuneta	Caudal (m3/seg)	pendiente de cuneta	n	z	x	y	y corregido	y ajustado	t
1	0.86415776	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.178	0.328	0.300	0.600
2	0.88915515	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.18057976	0.331	0.300	0.600
3	0.65613285	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.150	0.300	0.300	0.600
4	0.86439681	7.00%	0.011	1.500	0.500	0.209	0.359	0.350	0.700
5	0.87120901	7.00%	0.011	1.500	0.500	0.210	0.360	0.350	0.700
6	0.99407214	7.00%	0.011	1.500	0.500	0.227	0.377	0.350	0.700
7	1.18051416	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.214	0.364	0.350	0.700
8	0.99212896	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.193	0.343	0.350	0.700
9	1.20451859	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.217	0.367	0.350	0.700
10	0.77582295	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.166	0.316	0.300	0.600
11	1.18386431	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.214	0.364	0.350	0.700
12	0.58155213	12.00%	0.011	1.500	0.500	0.140	0.290	0.300	0.600

Presupuesto

Siguiendo el formato establecido por el MOPT para realizar los presupuestos en todos sus proyectos y enumerando cada actividad con un renglón de pago específico se procedió a realizar el presupuesto general de la obra. En realidad se presentaron tres presupuestos diferentes, uno para cada diseño, y por cada diseño el presupuesto variaba ya que se efectúo uno contemplando una estructura de pavimento flexible y otra considerando una estructura de pavimento rígido.

Además se contemplaron todas las estructuras adicionales que requerirá el proyecto así como las excavaciones y el trabajo a costo.

Los precios unitarios para cada actividad se tomaron de los datos que maneja el departamento de Contratación Administrativa para las licitaciones y demás proyectos que realiza el Ministerio.

Cuadro 26. Presupuesto diseño MOPT (Carpeta asfaltica y TS-3)						
REGLON DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES					
	DESCRIPCION					
		UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total ¢	1$=¢565,11
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	₡88,872,376.31	$157,265.62
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	4.3	₡1,185.00	₡5,095.50	$9.02
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	62002.385	₡9,057.00	₡561,555,600.95	$993,710.25
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	18095.94	₡11,016.00	₡199,344,875.04	$352,754.11
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	591.2	₡8,935.00	₡5,282,372.00	$9,347.51
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	24.4	₡11,946.00	₡291,482.40	$515.80
204(1)	SUB BASE GRADUACION D	m3	13046.5	₡15,912.00	₡207,595,908.00	$367,354.87
207(1)	CONFORMACION DE SUBRAZANTE CONSTRUIDA ANTERIORMENTE	Km	0.6	₡1,142,230.86	₡685,338.52	$1,212.75
304(3)	BASE DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	10961	₡25,459.00	₡279,056,099.00	$493,808.46
408(3)	ASFATO EMULSIONADO PARA IMPRIMACION BASE GRANULAR	Lt	24250	₡714.00	₡17,314,500.00	$30,639.17
403(1)	PAVIMENTO BITUMINOSO EN CALIENTE	Ton	5577.5	₡26,551.88	₡148,093,110.70	$262,060.68
410(1)	AGREGADOS PARA TRATAMIENTO BITUMINOSO SUPERFICIAL TIPO TS-3	m3	490	₡20,704.00	₡10,144,960.00	$17,952.19
410(3)	ASFALTO EMULSIONADO PARA TRATAMIENTO BITUMINOSO SUPERFICIAL TIPO TS-3	Lt	66348	₡714.00	₡47,372,472.00	$83,828.76
602A(1)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	24.76	₡210,905.00	₡5,222,007.80	$9,240.69
602A(6)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	22.12	₡206,611.00	₡4,570,235.32	$8,087.34
609(3)	CORDON Y CUNETA DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND 20 CM DE ALTURA	ml	650	₡15,132.10	₡9,835,865.00	$17,405.22
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m ∅	m	305	₡114,380.00	₡34,885,900.00	$61,732.94
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	19	₡8,346.67	₡158,586.73	$280.63
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	385	₡26,516.21	₡10,208,740.85	$18,065.05
622A(3)	CUNETA REVESTIDA CON TOBA CEMENTO	m	7800	₡18,840.00	₡146,952,000.00	$260,041.41
						$0.00
	TOTAL				₡1,777,447,526.11	$3,145,312.46
	TIPO DE CAMBIO DEL 01/02/10					

Cuadro 27. Presupuesto diseño alternativo 1 (Pavimento flexible)						
REGLON DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES DESCRIPCION					
		UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total ¢	1$=¢565,11
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	₡165,716,657.91	$293,246.73
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	6	₡1,185.00	₡7,110.00	$12.58
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	128767.77	₡9,057.00	₡1,166,249,692.89	$2,063,756.96
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	55365.4	₡11,016.00	₡609,905,246.40	$1,079,268.19
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	838.2	₡8,935.00	₡7,489,317.00	$13,252.85
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	34	₡11,946.00	₡406,164.00	$718.73
204(1)	SUB BASE GRADUACION D	m3	20370	₡15,912.00	₡324,127,440.00	$573,565.22
207(1)	CONFORMACION DE SUBRAZANTE CONSTRUIDA ANTERIORMENTE	Km	0.6	₡1,142,230.86	₡685,338.52	$1,212.75
304(3)	BASE DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	11640	₡25,459.00	₡296,342,760.00	$524,398.36
408(3)	ASFATO EMULSIONADO PARA IMPRIMACION BASE GRANULAR	Lt	58200	₡714.00	₡41,554,800.00	$73,534.00
403(1)	PAVIMENTO BITUMINOSO EN CALIENTE	Ton	16063.2	₡26,551.88	₡426,508,158.82	$754,734.76
602A(1)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	40.66	₡210,905.00	₡8,575,397.30	$15,174.74
602A(6)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	45.82	₡206,611.00	₡9,466,916.02	$16,752.34
609(3)	CORDON Y CUNETA DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND 20 CM DE ALTURA	ml	650	₡15,132.10	₡9,835,865.00	$17,405.22
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m ∅	m	425	₡114,380.00	₡48,611,500.00	$86,021.31
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	29	₡8,346.67	₡242,053.43	$428.33
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	385	₡26,516.21	₡10,208,740.85	$18,065.05
622A(3)	CUNETA REVESTIDA CON TOBA CEMENTO	m	10000	₡18,840.00	₡188,400,000.00	$333,386.42
						$0.00
	TOTAL				₡3,314,333,158.13	$5,864,934.54
	TIPO DE CAMBIO DEL 01/02/10					

Cuadro 28. Presupuesto diseño alternativo 1 (Pavimento rigido)						
REGLON DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES DESCRIPCION					
		UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total ¢	1$=¢565,11
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	₡211,414,203.23	$374,111.59
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	6	₡1,185.00	₡7,110.00	$12.58
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	128767.77	₡9,057.00	₡1,166,249,692.89	$2,063,756.96
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	55365.4	₡11,016.00	₡609,905,246.40	$1,079,268.19
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	838.2	₡8,935.00	₡7,489,317.00	$13,252.85
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	34	₡11,946.00	₡406,164.00	$718.73
207(1)	CONFORMACION DE SUBRAZANTE CONSTRUIDA ANTERIORMENTE	Km	0.6	₡1,142,230.86	₡685,338.52	$1,212.75
304(3)	BASE DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	12280	₡25,459.00	₡312,636,520.00	$553,231.26
602A(2)	HORMIGON ESTRUCTURAL CLASE B	m3	14550	₡113,000.00	₡1,644,150,000.00	$2,909,433.56
602A(1)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	40.66	₡210,905.00	₡8,575,397.30	$15,174.74
602A(6)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	45.82	₡206,611.00	₡9,466,916.02	$16,752.34
609(3)	CORDON Y CUNETA DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND 20 CM DE ALTURA	ml	650	₡15,132.10	₡9,835,865.00	$17,405.22
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m ø	m	425	₡114,380.00	₡48,611,500.00	$86,021.31
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	29	₡8,346.67	₡242,053.43	$428.33
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	385	₡26,516.21	₡10,208,740.85	$18,065.05
622A(3)	CUNETA REVESTIDA CON TOBA CEMENTO	m	10000	₡18,840.00	₡188,400,000.00	$333,386.42
						$0.00
	TOTAL				₡4,228,284,064.64	$7,482,231.89
	TIPO DE CAMBIO DEL 01/02/10					

Cuadro 29. Presupuesto diseño alternativo 2 (Pavimento flexible)						
REGLON DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES					
	DESCRIPCION					
		UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total ¢	1$=¢565,11
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	₡228,904,656.95	$405,062.12
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	5.3	₡1,185.00	₡6,280.50	$11.11
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	306578	₡9,057.00	₡2,776,676,946.00	$4,913,515.86
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	32262	₡11,016.00	₡355,398,192.00	$628,900.91
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	945.2	₡8,935.00	₡8,445,362.00	$14,944.63
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	41.36	₡11,946.00	₡494,086.56	$874.32
204(1)	SUB BASE GRADUACION D	m3	17952	₡15,912.00	₡285,652,224.00	$505,480.75
207(1)	CONFORMACION DE SUBRAZANTE CONSTRUIDA ANTERIORMENTE	Km	0.6	₡1,142,230.86	₡685,338.52	$1,212.75
304(3)	BASE DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	10258	₡25,459.00	₡261,158,422.00	$462,137.32
408(3)	ASFATO EMULSIONADO PARA IMPRIMACION BASE GRANULAR	Lt	51293	₡714.00	₡36,623,202.00	$64,807.21
403(1)	PAVIMENTO BITUMINOSO EN CALIENTE	Ton	14156.5	₡26,551.88	₡375,881,689.22	$665,147.83
602A(1)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	40.66	₡210,905.00	₡8,575,397.30	$15,174.74
602A(6)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	45.82	₡206,611.00	₡9,466,916.02	$16,752.34
609(3)	CORDON Y CUNETA DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND 20 CM DE ALTURA	ml	650	₡15,132.10	₡9,835,865.00	$17,405.22
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m ø	m	517	₡114,380.00	₡59,134,460.00	$104,642.39
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	27	₡8,346.67	₡225,360.09	$398.79
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	385	₡26,516.21	₡10,208,740.85	$18,065.05
622A(3)	CUNETA REVESTIDA CON TOBA CEMENTO	m	8000	₡18,840.00	₡150,720,000.00	$266,709.14
						$0.00
	TOTAL				₡4,578,093,139.01	$8,101,242.48
	TIPO DE CAMBIO DEL 01/02/10					

Cuadro 30. Presupuesto diseño alternativo 2 (Pavimento flexible, BE-35)						
REGLON DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES					
	DESCRIPCION					
		UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total ¢	1$=¢565,11
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	₡235,050,830.63	$415,938.19
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	5.3	₡1,185.00	₡6,280.50	$11.11
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	306578	₡9,057.00	₡2,776,676,946.00	$4,913,515.86
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	32262	₡11,016.00	₡355,398,192.00	$628,900.91
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	945.2	₡8,935.00	₡8,445,362.00	$14,944.63
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	41.36	₡11,946.00	₡494,086.56	$874.32
204(1)	SUB BASE GRADUACION D	m3	12852	₡15,912.00	₡204,501,024.00	$361,878.26
207(1)	CONFORMACION DE SUBRAZANTE CONSTRUIDA ANTERIORMENTE	Km	0.6	₡1,142,230.86	₡685,338.52	$1,212.75
304(3)	BASE DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	10258	₡25,459.00	₡261,158,422.00	$462,137.32
307(2)	Agregados para base estabilizada BE35	m3	10282	₡19,250.00	₡197,928,500.00	$350,247.74
408(3)	ASFATO EMULSIONADO PARA IMPRIMACION BASE GRANULAR	Lt	51293	₡714.00	₡36,623,202.00	$64,807.21
403(1)	PAVIMENTO BITUMINOSO EN CALIENTE	Ton	14156.5	₡26,551.88	₡375,881,689.22	$665,147.83
602A(1)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	40.66	₡210,905.00	₡8,575,397.30	$15,174.74
602A(6)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	45.82	₡206,611.00	₡9,466,916.02	$16,752.34
609(3)	CORDON Y CUNETA DE HORMIGON DE CEMENTO PORTLAND 20 CM DE ALTURA	ml	650	₡15,132.10	₡9,835,865.00	$17,405.22
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m ∅	m	517	₡114,380.00	₡59,134,460.00	$104,642.39
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	27	₡8,346.67	₡225,360.09	$398.79
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	385	₡26,516.21	₡10,208,740.85	$18,065.05
622A(3)	CUNETA REVESTIDA CON TOBA CEMENTO	m	8000	₡18,840.00	₡150,720,000.00	$266,709.14
						$0.00
	TOTAL				₡4,701,016,612.69	$8,318,763.80
	TIPO DE CAMBIO DEL 01/02/10					

Análisis de Resultados

El diseño principal

El primer diseño realizado, el cual básicamente fue una propuesta de mejoramiento de las condiciones existentes en el sitio, cumplió con las pautas establecidas en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales, pues en los puntos más críticos del proyecto, que se encontraban localizados entre las estaciones 3+150 y la 4+300 se ampliaron los radios de giro hasta por lo menos cumplir con los mínimos de 35 m para una velocidad de 35 kph y se mejoraron las pendientes, las cuales inicialmente llegaban a niveles de hasta un 23%. Luego de la intervención se logró disminuir las pendientes hasta un máximo de un 16% en los tramos más críticos. En lo que se refiere a distancias de visibilidad y parada, no fue mucho lo que se pudo mejorar salvo en ciertos puntos donde se aumentaron los radios de curva hasta los 300 m y también sus respectivas longitudes. Pero en la mayor parte de los casos, debido a la decisión de que la intervención por realizar fuera únicamente buscando mejorar las condiciones actuales y que además tuviera el más mínimo impacto en perjuicio de los vecinos, es decir, sin expropiaciones ni movimientos de tierra masivos, no se pudieron ampliar las mencionadas distancias.

En lo que sí el proyecto va a tener una mejora significativa con respecto a lo existente en la actualidad es en la parte de pavimentos, espaldones y cunetas. Esto porque no solo se amplió la superficie de rodamiento sino que se contempló aprovechar el derecho de vía para incluir espaldones y cunetas a lo largo de todo el proyecto y en ambos sentidos. Además se realizó una mejora significativa en lo que a sistemas de drenajes se refiere, ya que se sustituyeron todas las estructuras existentes y se colocaron nuevas tuberías con diámetros de 80 cm con cabezales y tomas de concreto en todos los puntos y además se contempló la conformación de canales de entrada y/o salida de las alcantarillas en los casos que la topografía así lo ameritaba.

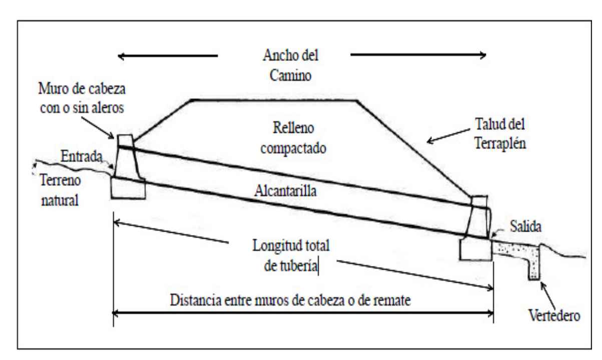


Figura 53. Detalle de alcantarilla (Fuente: Ingeniería de Caminos Rurales. AID)

En lo que a pavimentos se refiere se realizó una propuesta de diseño mixta, es decir empleando un pavimento flexible en una parte del trayecto y aplicando un TS-3 al otro tramo del diseño. Este último se propone emplearlo en el tramo entre el relleno de WPP (estación 2+500) y el final del proyecto (estación 4+300), donde el tránsito vehicular es mínimo.

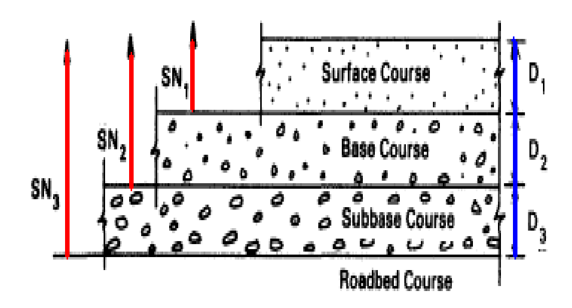


Figura 54. Estructura del pavimento (Fuente: Guide for design of pavement structures. AASHTO 1993)

En lo que a movimiento de tierras se refiere, los volúmenes de corte fueron mucho mayores que los de relleno. Esto porque fueron muy pocos los puntos donde se tuvo que realizar un relleno importante. Uno de ellos fue al final del proyecto, donde para dejar la rasante a la misma elevación a la que quedó estacionado el diseño del futuro puente que se va a realizar, se tuvo que rellenar un importante tramo de la calle. Inevitablemente se debieron realizar también cortes de terreno con el fin de bajar un poco las pendientes existentes, así como para ampliar la estructura de la calle.

El resumen de toda la obra por realizar se expuso claramente en el presupuesto general, ya que allí se enlistan todos los ítems o actividades involucradas, sus cantidades globales y sus precios respectivos. Es importante hacer notar que el precio total de la obra se comparó con el monto total de otro proyecto que actualmente está realizando el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (ver anexo 11), llamado Llano Brenes-Ruta3 el cual posee características que lo hacen ser muy similar al anterior y los montos totales resultaron muy parecidos. Esta comparación sirve también para validar el trabajo realizado en el presente proyecto.

Propuestas de diseño #1 y #2

En estos nuevos diseños sí se cumplieron a cabalidad las especificaciones que exige el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales en lo que a diseño geométrico se refiere. Con una velocidad de diseño de 50 km/h como punto de partida se diseñaron todos los alineamientos tanto horizontales como verticales.

En el diseño horizontal se trabajaron radios de curva de 100 m como mínimo, pero en algunos casos se logró ampliarlos hasta 300 m. De igual manera se hizo con las distancias de visibilidad y de parada, las cuales como mínimo debían ser de 72 m pero en la mayoría de los casos las distancias diseñadas fueron mayores.

El alineamiento vertical (curvas cóncavas y convexas) también se diseñó cumpliendo con las normas establecidas dando como resultado que todas las curvas tuvieran una longitud mínima de 100 m. Todas estas consideraciones de diseño lo que buscan es incrementar la seguridad del conductor al transitar por la ruta, así como el nivel de confort. Al haber mayor seguridad en una vía el conductor circula con mayor libertad, lo que evita que el nivel de servicio de la carretera disminuya, debido a presas o a que los conductores circulen lentamente.

Para el diseño de pavimentos de estas nuevas rutas no se contempló el uso de un tratamiento superficial bituminoso, esto debido al alto tránsito que se proyecta circularía por esas carreteras. El diseño se realizo únicamente con pavimentos flexibles, rígidos y semirrígidos.

En lo que a drenajes se refiere, estos nuevos diseños emplearan tomas de entrada tipo TM-2 y cabezales de salida tipo CA-1 (según clasificación del manual de *Normas y Diseños para la Construcción de Carreteras)* en todos los puntos donde se propuso colocar un drenaje.

Finalmente en lo que a movimientos de tierra se refiere, para el diseño #1 se requirió realizar cortes de terreno por aproximadamente 130.000

metros cúbicos y rellenos por aproximadamente 55.000 metros cúbicos. En el segundo diseño el volumen de corte se incrementó significativamente con respecto a los otros dos diseños, alcanzando los 300.000 metros cúbicos aproximadamente. El volumen de rellenos fue de aproximadamente 30.000 metros cúbicos. Esto sin duda es el resultado más ejemplificante de la gran diferencia que existe entre un mejoramiento geométrico de una ruta existente y un diseño totalmente nuevo. El volumen de movimiento de materiales que debe hacerse es casi cinco veces mayor en cualquiera de los dos diseños nuevos que en el de mejoramiento, en el cual el movimiento de corte y relleno fue de apenas 62000 y 18000 metros cúbicos respectivamente.

Costos

En cuanto al monto final de la obra, en el primer caso, el del mejoramiento geométrico, este fue de ₡1,777,447,526.11. Acá se diseñaron dos tipos de pavimentos diferentes. Para el primer tramo de 2500 metros se realizó un pavimento flexible integrado de la siguiente manera: Una carpeta de 12cm de espesor, una estructura de base de 20cm seguido por una estructura de subbase de 35cm. De ese punto hasta el final del proyecto se coloco un TS-3. En este caso la estructura de espesores quedo de la siguiente manera: Una capa de base de 35 cm y una de subbase de 40cm. Esta combinación de tipos de estructuras fue la más adecuada debido principalmente a los distintos volúmenes de transito que hay en la zona. En la estación 2+500 se encuentra la entrada del relleno sanitario de WPP por lo que el tránsito de vehículos pesados hasta ese punto es muy alto, justificando un espesor de estructura de 67cm. De allí en adelante el transito se reduce significativamente y no hay presencia de vehículos pesados por lo que la decisión de aplicar un tratamiento superficial bituminoso es lo más adecuado.

Para el diseño alternativo #1 se realizaron dos diseños distintos, también a manera de propuestas; una con pavimentos flexibles dando como resultado una estructura con un espesor de 67cm fragmentada de la siguiente manera: espesor de pavimento de 12cm, espesor de base de 20cm y espesor de subbase de 35cm. La otra propuesta involucraba una losa de concreto hidráulico de 25cm de espesor con una base de 22cm. Estas dos propuestas son también las más adecuadas para este nuevo diseño ya que el transito proyectado si sería superior al de la propuesta original.

Los montos calculados para este proyecto son los siguientes: ₡3.314.333.158 para el pavimento flexible mientras que para la estructura de pavimento rígido, el monto total fue de ₡4.228.284.064. Evidentemente son mucho mayores que los de el diseño original, pero están totalmente justificados ya que el movimiento de tierras es mucho mayor y la longitud del nuevo trazo es casi 2km mayor que el otro.

Para la propuesta alternativa #2 se aplicó la misma estructura del pavimento flexible que en el diseño # 1 ya que el transito proyectado fue el mismo. En este caso el monto estimado del proyecto fue el siguiente: ₡4,578.093.134. Si bien es cierto la longitud del proyecto fue menor que en la propuesta anterior (5.3km) el movimiento de tierras fue mucho mayor que en los otros dos proyectos.

Se propuso además realizar otra propuesta para pavimento flexible pero empleando una base estabilizada con cemento portland. En este caso, luego de realizar los cálculos respectivos se definió una carpeta asfáltica de 12 cm con una base de 20cm y una estructura de subbase de 25cm. En esta última es donde se vio reflejada la reducción de espesores producto de la aplicación de cemento en la base granular. Se produjo una reducción de 10cm en el espesor de la subbbase. El monto de esta última propuesta fue de ₡4.701.016.612.69. Este resultado es especialmente importante ya que el incremento

en la capacidad estructural que le brinda el cemento a la capa de base es muy significativo pero el incremento en precios no lo es tanto. Por un poco más de cien millones de colones puede garantizarse una vida útil mucho mayor así como un deterioro menor.

Sobrepeso de los camiones

El exceso de peso con el que circulan muchos camiones en nuestro país es una de las principales causas del deterioro acelerado de las calles. Esto es una realidad por todos conocida, pero muy difícil de evidenciar y detener. Salvo por las romanas camioneras ubicadas en unos cuantos puntos de nuestro país, los camiones circulan libremente por las calles llevando la carga que quieran transportar. Esta situación es muy grave y afecta directamente este proyecto ya que el camino a intervenir pasa frente al relleno sanitario Los Pinos. Como se puede observar en el apéndice #1, del total de camiones que llegan diariamente a depositar desechos al relleno, al menos un 10% lleva sobrepeso. Este sobrepeso se determinó analizando la información que se presenta en el apéndice 5 en el cual se establecen los pesos máximos permitidos por ley dependiendo del tipo de vehículo. En el caso de los camiones recolectores de basura, en su mayoría son tipo C2 y C3 cuyo peso máximo no debería exceder las 16.5 toneladas para el conjunto de ejes traseros y 6 toneladas para el eje delantero. Pero cuando se observan los pesos de los camiones recolectores que llegan a depositar basura al relleno, que en algunos casos superan las 50 toneladas, se llega fácilmente a la conclusión de que van con un exceso de peso. El diseño de pavimentos no contempla directamente este tipo de sobrepeso y posiblemente cualquier diseño que se realice bajo estas condiciones enfrente un deterioro prematuro y una disminución en su vida útil. Se determino entonces un promedio de sobrepeso por camión de 10 toneladas para cada uno de los camiones que presentaban exceso. Por lo tanto en este caso se decidió aumentar arbitrariamente en un 10% el número de camiones pesados para el cálculo de los ejes equivalentes (ESALs). De esta manera se trató de compensar la sobrecarga con un espesor de 5cm más en la capa de subbase. Con esto se intenta garantizar que aunque los transportistas sigan irresponsablemente cargando más peso del permitido por ley en sus camiones, el pavimento resista esta sobrecarga y su vida útil no se vea disminuida.

Conclusiones

Por medio de los resultados obtenidos y el análisis de los mismos, se presentan a continuación las principales conclusiones del presente proyecto:

- Es factible realizar el mejoramiento geométrico de la ruta existente, eso sí, sin realizar movimientos de materiales masivos ni expropiaciones, los cuales encarecerían el proyecto y los perjuicios para los vecinos podrían ser mayores que los mismos beneficios.
- Las pendientes para el diseño principal no se pudieron bajar de un 14%, el cual si bien es cierto es permitido por las normas que aplican para el diseño de carreteras regionales limita significativamente el flujo vehicular y reduce la seguridad y el confort del usuario.
- El alineamiento horizontal para el diseño principal presenta radios de giro mínimos de 35 m, pero en general la mayoría fue mejorado hasta quedar en 60 m.
- La velocidad de diseño existente en la ruta actual de 40 km/h se mantuvo y se buscó adaptar la geometría a esa velocidad.
- Las distancias de visibilidad y de parada en el diseño principal se trataron de mejorar pero siempre la topografía del terreno y las construcciones existentes se presentaron como una limitante.
- Para el diseño principal y las dos propuestas alternativas (diseños 1 y 2) se diseñaron cunetas revestidas a ambos lados del camino en los tramos que se consideraron necesarios.
- En los diseños alternativos (diseño #1 y #2) al ser trazados completamente nuevos sí se logró realizar un alineamiento apropiado con radios de giro amplios y con las distancias de visibilidad y de parada adecuadas.
- Se contempló, además, el diseño de espaldones de 1.2 m de ancho a lo largo de todo el trayecto en los tres diseños.
- En los puntos cercanos a las intersecciones se contempló el diseño de carriles adicionales ya sea de aceleración o desaceleración o para giro a la izquierda. En las que aplicaba, se cumplió con las distancias mínimas de transición, frenado y almacenamiento.
- Una parte importante en toda carretera son los drenajes y se evidenció que el mantenimiento que se les da es mínimo, con el consecuente daño y desgaste que esto le puede causar a la estructura de la carretera.
- Se determinó que no era necesario estabilizar los cortes que se realizarían para darle paso a la carretera en los nuevos diseños, ya que se diseñó con taludes a 45° y bajo estas condiciones y para el tipo de suelo presente en la zona, una falla es muy difícil que se presente.
- La estructura de pavimentos flexible resultante tiene un espesor de 67 cm, divididos de la siguiente manera: Una subbase de 30 cm, una base de 25 cm y una capa de pavimento de 12 cm.

- La estructura de pavimento rígido para el diseño alternativo #1 presentó un espesor de subestructura de 21 cm y una losa de 25 cm para un total de 46 cm de espesor. Esto significa una reducción de espesores de 20 cm con respecto a la estructura con pavimento asfáltico.
- En cuanto a precios, para el diseño #1 la diferencia entre realizar la obra con pavimento flexible vrs el pavimento rígido fue de aproximadamente 900 millones de colones.
- Realizar el diseño alternativo #2 con base estabilizada incrementa el precio total de la obra en aproximadamente 150 millones de colones (3%) en comparación con el mismo diseño de pavimento flexible pero empleando únicamente una base de material granular.
- De las tres propuestas, la que se debería tomar en consideración para una futura ejecución es la #2 ya que es la que ataca el problema del tránsito de la zona del valle más directamente; ya que no se desvía hacia Navarro de Muñeco sino que conecta el transito directamente con Campo Ayala.

Recomendaciones

A partir de las conclusiones mencionadas anteriormente, se generaron las siguientes recomendaciones para ser tomadas en cuenta en futuros diseños de carreteras, ya sea desde el departamento de Diseño Geométrico del MOPT o desde cualquier otro lugar:

- Es importante que las municipalidades tengan bien identificadas e inventariadas todas sus calles y carreteras. De esta manera se puede saber con exactitud la condición de cada una de ellas para así definir el tipo de intervención que cada ruta requiere.
- Las autoridades de tránsito deberían estar más atentas al sobrepeso de muchos vehículos que circulan diariamente por las carreteras y caminos sin contemplar el grave daño que ese exceso de peso le causa a la estructura del pavimento.
- Dar un adecuado mantenimiento al sistema de alcantarillas y cunetas al inicio y al final de cada invierno garantiza el buen funcionamiento del sistema de evacuación de aguas y protege la estructura de la carretera.
- La realización de un completo estudio de suelos que presente todas las características del terreno por donde pasará el proyecto es sumamente importante ya que solo así se sabe sobre que se va a trabajar.
- La decisión acerca de cuáles vías intervenir y el tipo de intervención que requieren debería ser tomada empleando criterios técnicos y siguiendo las recomendaciones del departamento de Planificación Sectorial del MOPT y no por razones políticas como en muchos casos sucede.
- La adquisición de equipos de última tecnología como por ejemplo estaciones totales, programas de cómputo, GPS´s etc. es muy importante para la realización del proyecto pero debería ir siempre de la mano con una adecuada capacitación del personal de manera que los equipos no sean subutilizados.
- Si bien es cierto que la construcción de una obra en concreto es más caro que en asfalto, (25% mas aproximadamente) sería recomendable analizar más a fondo este resultado con el fin de determinar si los beneficios que conlleva emplear una estructura de concreto hidráulico en lo que al ahorro en mantenimiento y vida útil compensan este incremento de precios.
- Dado que las diferencias de precios entre utilizar una base granular corriente y emplear una base estabilizada no son de más de un 3% se aconseja contemplar la posibilidad de estabilizar la base del proyecto ya que el incremento en la vida útil de la calle y la reducción en los espesores de la estructura paga con creces la diferencia en los precios.

Referencias

- Keller, Gordon; Sherar, James. 2004. **Ingeniería de caminos rurales**. México: Instituto Mexicano de Transporte.
- Proyecto Mopt/GTZ. 1998. **Conservación de caminos: Un modelo participativo**. Primera edición. San José, Costa Rica.
- Consultoría GTZ. 2005. **Concepto para el Mantenimiento Rutinario y Periódico Sostenible de los Caminos**. MOPT-KFW.
- Coronado, Jorge. 2002. **Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos**. Guatemala.
- Leclair, Raúl. 2001. **Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales**. Guatemala.
- Holcim. 2008. **Manual de tubos de concreto**
- MOPT. Costa Rica. 1978. **Especificaciones Generales para la construcción de caminos, carreteras y puentes.**
- MOPT. Costa Rica. 1966. **Normas y Diseños para la Construcción de Carreteras.**
- AASHTO. 1993. **Guide for design of pavement structures.**
- Cárdenas, James. 2004 **Diseño Geométrico de Carreteras.**
- Gamboa, Ramiro. 1969 **Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores en carreteras.**
- Mott. Robert L. 1999. **Mecánica de Fluidos Aplicada.**
- Chow. Venn Te. 1994. **Hidrología Aplicada**
- Aguilar, Ligia Elizabeth. 2003. **Diseño del pavimento rígido y drenaje pluvial para un sector de la aldea Santa María Cauque, del Municipio de Santiago Sacatepéquez, Sacatepéquez.** Informe de trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Olmedo, Raúl Benítez. 2003. **Drenaje Vial.** Informe de Trabajo de Graduación, Instituto Superior Politécnico, La Habana Cuba.

Anexos

Anexo 1. Algunos volumenes de Corte y relleno diseño principal						
Station	Cut Area (Sq.m.)	Cut Volume (Cu.m.)	Reusable Volume (Cu.m.)	Fill Area (Sq.m.)	Fill Volume (Cu.m.)	Cum. Cut Vol. (Cu.m.)
0+000.000	6.03	0	0	0.02	0	0
0+005.000	5.8	29.59	29.59	0	0.07	29.59
0+010.000	5.75	28.87	28.87	0.01	0.05	58.46
0+015.000	6.31	30.13	30.13	0	0.03	88.59
0+020.000	6.96	33.18	33.18	0	0	121.77
0+025.000	6.77	34.33	34.33	0.16	0.4	156.09
0+030.000	6.99	34.38	34.38	0.15	0.76	190.48
0+035.000	7.15	35.33	35.33	0.14	0.7	225.81
0+038.247	7.22	23.32	23.32	0.13	0.43	249.12
0+040.000	7.25	12.68	12.68	0.12	0.22	261.8
0+045.000	9.04	40.73	40.73	0.08	0.52	302.53
0+050.000	9.03	45.19	45.19	0.1	0.45	347.72
0+055.000	8.24	43.19	43.19	0.11	0.52	390.91
0+060.000	6.75	37.48	37.48	0.1	0.52	428.39
0+065.000	7.2	34.88	34.88	0	0.24	463.27
0+070.000	6.84	35.1	35.1	0	0	498.37
0+075.000	6.35	32.98	32.98	0.03	0.08	531.35
0+080.000	5.94	30.72	30.72	0.16	0.48	562.07
0+085.000	6.13	30.17	30.17	0.09	0.62	592.24
0+090.000	6.36	31.22	31.22	0.06	0.38	623.47
0+095.000	6.46	32.04	32.04	0.1	0.42	655.51
0+098.247	5.44	19.33	19.33	0.56	1.08	674.83
0+100.000	4.8	8.98	8.98	0.81	1.2	683.81
0+105.000	2.99	19.47	19.47	2.03	7.1	703.28
0+110.000	2.64	14.08	14.08	1.49	8.8	717.36
0+115.000	7.15	24.49	24.49	0.14	4.06	741.85
0+120.000	5.08	30.59	30.59	1.3	3.6	772.44
0+122.769	5.19	14.22	14.22	1.82	4.33	786.66
0+125.000	5.26	11.66	11.66	1.7	3.92	798.32
0+130.000	5.33	26.47	26.47	1.38	7.68	824.79
0+133.547	5.47	19.14	19.14	1.15	4.47	843.94
0+135.000	5.6	8.04	8.04	0.92	1.5	851.98
0+137.338	5.88	13.41	13.41	0.84	2.06	865.38
0+140.000	6.2	16.07	16.07	0.58	1.9	881.46
0+141.128	6.2	6.99	6.99	0.62	0.67	888.45
0+145.000	4.91	21.5	21.5	0.54	2.23	909.95
0+150.000	4.01	22.3	22.3	0.73	3.16	932.25
0+155.000	5.46	23.67	23.67	1.61	5.84	955.92
0+160.000	7.39	32.12	32.12	1.07	6.7	988.03
0+165.000	8.6	39.97	39.97	0	2.69	1028.01
0+167.009	8.39	17.06	17.06	0	0.02	1045.07
0+170.000	8.04	24.58	24.58	0	0.02	1069.65
0+175.000	7.34	38.46	38.46	0.02	0.06	1108.11
0+180.000	6.43	34.44	34.44	0.11	0.31	1142.55

Anexo 1. Volúmenes de corte y relleno. (Fuente: El Autor)

Anexo 2. Algunos volumenes de corte y relleno diseño alternativo #1						
Station	Cut Area (Sq.m.)	Cut Volume (Cu.m.)	Reusable Volume (Cu.m.)	Fill Area (Sq.m.)	Fill Volume (Cu.m.)	Cum. Cut Vol. (Cu.m.)
5+810.000	0	0	0	302.32	1321.57	0
5+815.000	0	0	0	281.51	1207.85	0
5+820.000	0	0	0	277.19	1135.73	0
5+825.000	0	0	0	293.42	1125.41	0
5+830.000	0	0	0	239.93	1057.43	0
5+835.000	0	0	0	30.43	563.59	0
5+840.000	0.26	0.69	0.69	15.49	112.45	0.69
5+844.480	4.7	11.58	11.58	10.34	55.78	12.27
5+845.000	5.56	2.66	2.66	9.77	5.22	14.94
5+850.000	17.38	59.49	59.49	4.96	34.74	74.43
5+855.000	32.07	127.69	127.69	0.96	13.79	202.12
5+860.000	49.18	209.42	209.42	2.31	7.48	411.54
5+865.000	68.33	303.26	303.26	0	5.25	714.8
5+870.000	84.79	395.35	395.35	0	0	1110.15
5+875.000	102.11	482.75	482.75	0	0	1592.9
5+880.000	116.07	565.16	565.16	0	0	2158.05
5+884.158	129.81	530.28	530.28	0	0	2688.33
5+885.000	128.61	192.21	192.21	0	0	2880.54
5+890.000	136.18	661.96	661.96	0	0	3542.5
5+895.000	138.17	685.88	685.88	0	0	4228.38
5+900.000	135.04	683.04	683.04	0	0	4911.42
5+905.000	127.21	655.63	655.63	0	0	5567.05
5+910.000	114.18	603.48	603.48	0	0	6170.53
5+915.000	100.16	535.87	535.87	4.92	12.31	6706.4
5+920.000	83.93	460.22	460.22	13.86	46.97	7166.62
5+925.000	68.32	380.62	380.62	9.16	57.56	7547.25
5+930.000	54.85	307.93	307.93	13.66	57.06	7855.18
5+935.000	42.75	244	244	17.46	77.81	8099.19
5+940.000	32.39	187.84	187.84	23.15	101.52	8287.03
5+945.000	24.47	142.14	142.14	21.11	110.66	8429.17
5+950.000	18.72	107.99	107.99	16.67	94.46	8537.16
5+955.000	14.05	81.95	81.95	16.03	81.77	8619.11
5+960.000	13.69	69.36	69.36	15.74	79.42	8688.47
5+965.000	17.13	77.06	77.06	14.38	75.28	8765.53
5+970.000	16.93	85.16	85.16	15.03	73.51	8850.69
5+975.000	16.75	84.21	84.21	16.1	77.8	8934.9
5+980.000	16.39	82.86	82.86	17.97	85.17	9017.76
5+985.000	15.44	79.58	79.58	20.95	97.31	9097.34
5+990.000	15.53	77.43	77.43	24.34	113.23	9174.77
5+995.000	15.62	77.88	77.88	28.86	132.99	9252.65
5+999.536	0	35.42	35.42	0	65.45	9288.07

Anexo 2. Volúmenes de corte y relleno. (Fuente: El Autor)

Anexo 3. Algunos volumenes de corte y relleno para diseño #2						
Station	**Cut Area (Sq.m.)**	**Cut Volume (Cu.m.)**	**Reusable Volume (Cu.m.)**	**Fill Area (Sq.m.)**	**Fill Volume (Cu.m.)**	**Cum. Cut Vol. (Cu.m.)**
5+010.000	507.08	5232.83	5232.83	0	0	778859.86
5+020.000	474.78	4909.29	4909.29	0	0	783769.16
5+030.000	443.62	4591.98	4591.98	0	0	788361.14
5+040.000	415.27	4294.46	4294.46	6.4	31.98	792655.61
5+050.000	389.39	4023.34	4023.34	24.81	156.02	796678.95
5+060.000	367.93	3786.61	3786.61	48.15	364.79	800465.56
5+070.000	359.2	3635.61	3635.61	70.19	591.72	804101.17
5+080.000	360.44	3598.18	3598.18	98.53	843.64	807699.35
5+090.000	362.78	3616.11	3616.11	134.91	1167.19	811315.46
5+100.000	360.47	3616.25	3616.25	177.24	1560.74	814931.71
5+110.000	348.47	3544.67	3544.67	231.1	2041.72	818476.39
5+120.000	326.81	3376.4	3376.4	223.95	2275.27	821852.78
5+127.563	306.38	2394.27	2394.27	205.61	1624.29	824247.05
5+130.000	293.2	835.78	835.78	198.84	319.83	825082.83
5+140.000	235.54	2977.61	2977.61	169.74	1189.87	828060.44
5+150.000	194.43	2355.19	2355.19	149.01	1019.72	830415.62
5+160.000	152.89	1857.87	1857.87	134.53	904.07	832273.49
5+170.000	106.32	1360.42	1360.42	128.18	841.14	833633.91
5+180.000	64.04	880.11	880.11	125.76	821.27	834514.02
5+190.000	33.38	496.99	496.99	126.72	829.09	835011.01
5+200.000	13.81	239.05	239.05	126.51	846.31	835250.05
5+210.000	6.65	103.58	103.58	115.9	815.02	835353.63
5+213.338	6.6	22.28	22.28	112.49	255.18	835375.91
5+220.000	6.3	43.22	43.22	106.58	486.49	835419.13
5+230.000	5.57	59.53	59.53	99.61	683.31	835478.66
5+240.000	4.83	51.98	51.98	95.13	641.84	835530.64
5+250.000	4.49	46.43	46.43	85.45	597.93	835577.06
5+260.000	4.61	45.25	45.25	62.42	504.97	835622.32
5+269.359	4.96	44.49	44.49	40.17	347.63	835666.81
5+270.000	4.99	3.19	3.19	37.85	25.02	835670
5+280.000	5.46	52.24	52.24	10.15	239.96	835722.24
5+288.431	0	23.01	23.01	0	42.77	835745.25

Anexo 3. Volúmenes de corte y relleno. (Fuente: El Autor)

Anexo 4. Cálculo de cuencas diseño principal									
Alcantarilla	Q=Cia/360	% zona urbana	%zona boscosa	C (coef escorrentia)	i (intensidad mm/h)	Area (m2)	Tiempo concentracion (duracion de lluvia)	Longitud cuenca	Dif elevaciones
0+144	0.157578962	65	35	0.415	230	5943.261	2.450953384	73.9	1.423
0+249	0.122487326	65	35	0.415	230	4619.742	1.256143474	45.2	1.848
0+452	0.276961086	65	35	0.415	154	15601	10.40145711	533	12.5
0+580	0.463688244	65	35	0.415	197	20418.05	5.000872711	128	1.16
0+850	0.289718763	65	35	0.415	177	14199	6.831380221	320.98	8.136
0+948	1.094948881	30	70	0.38	182	56995.604	6.246231633	266	5.843
1+291	0.755311142	30	70	0.38	180	39753.218	6.484194478	406.77	18.961
1+977	0.444265502	30	70	0.38	229	18379.175	3.278397124	209.82	15.3
2+315	0.460579185	30	70	0.38	230	18971.225	2.022199676	119.4	9.89
2+439	1.194205462	30	70	0.38	230	49189.241	2.833219551	189.09	16.36
2+807	1.243119014	35	65	0.385	230	50539	3.205588905	241.4	24.7
2+992	1.207885033	35	65	0.385	189	59759.309	5.674146106	566.93	72.6
3+107	0.342118559	65	35	0.415	197	15064.85	4.855686176	357.05	27.18
3+486	0.393609578	65	35	0.415	230	14845.411	1.877219087	176.4	38.69
3+590	0.262455763	65	35	0.415	230	9898.803	2.910405368	222.33	24.8
3+783	0.375781612	65	35	0.415	230	14173.01	2.931971008	211.52	20.95
3+893	0.33318119	65	35	0.415	230	12566.289	1.856198734	160.54	30.03
4+010	0.263537948	30	70	0.38	230	10855.11	1.207947934	99.07	21.54

Anexo 4. Calculo de cuencas del diseño principal (Fuente: El Autor)

Anexo 5. Cálculo de cuencas diseño #1 (estacion 3+150 en adelante)									
Alcantarilla	Q=Cia/360	% zona urbana	% zona bososa	C (coef escorrentia)	i (intensidad mm/h)	Area (m2)	Tiempo concentración (duración de lluvia)	Longitud cuenca	Dif elevaciones
3+241	1.07661211	50	50	0.4	230	42128.3	2.229643474	238.6	61.24
3+426	0.42256111	50	50	0.4	230	16535	2.27172208	203.7	36.3
3+603	0.64110328	30	70	0.38	230	26407	1.318922149	65.7	5
3+807	1.19063078	30	70	0.38	230	49042	1.571972367	71	4
4+000	1.25540389	30	70	0.38	230	51710	2.190357829	223.2	52.5
4+300	1.32898983	30	70	0.38	230	54741	1.626901545	295.14	262.8
4+600	1.78010736	30	70	0.38	230	73322.5	2.172859898	262.3	87
4+950	1.71655299	30	70	0.38	230	70704.7	2.456757304	247.3	53
5+135	1.61832753	30	70	0.38	230	66658.8	3.432521908	389.7	87
5+290	1.07583816	30	70	0.38	230	44313.7	4.579038717	595.7	147
5+340	0.51294353	65	35	0.415	230	19346.22	4.720275153	600	138.81
5+420	1.62095311	65	35	0.415	230	61136	4.637736847	584	134
5+542	0.42706451	65	35	0.415	230	16107.2	1.733754581	246	129
5+850	1.08799647	30	70	0.38	230	44814.5	1.203401197	150	75.5

Anexo 5. Cálculo de cuencas del diseño# 1. (Fuente: El Autor)

Anexo 6. Cálculo de cuencas diseño #2 (estación 3+150 en adelante)									
Alcantarilla	Q=Cia/360	% zona urbana	% zona boscosa	C (coef escorrentia)	i (intensidad)	Area (m2)	Tiempo concentración (duración de lluvia)	Longitud cuenca	Dif elevaciones
3+300	0.864157763	50	50	0.4	230	33814.869	2.904510252	265.8	42.6
3+450	0.889155147	35	65	0.385	230	36148.6	1.984471061	214.6	60.3
3+580	0.656132846	35	65	0.385	230	26675.079	2.398505104	293.55	94.345
3+700	0.864396813	35	65	0.385	230	35142.05	3.436297144	411.15	101.88
3+850	0.871209014	35	65	0.385	230	35419	2.290635699	295.14	108.06
4+050	0.994072139	35	65	0.385	230	40414	2.172859898	262.3	87
4+300	1.180514164	35	65	0.385	230	47993.8	2.456757304	247.3	53
4+500	0.992128958	35	65	0.385	230	40335	2.49839801	296	87
4+650	1.204518593	35	65	0.385	230	48969.7	3.708931928	406.6	80.81
4+750	0.775822954	35	65	0.385	230	31541.08	3.021258223	383	115.05
5+000	1.183864306	35	65	0.385	230	48130	4.62616625	289.09	16.36
5+150	0.581552125	35	65	0.385	230	23643	3.807023668	341.4	44.7

Anexo 6. Cálculo de cuencas del diseño# 2. (Fuente: El Autor)

Capacidad de Soporte de California (CBR)

Estación 3+900

Cuadro. Determinación de la densidad seca.

Nº Molde	Capsula (g)	Capsula + M. humedad (g)	Capsula+ M. seca (g)	Agua (g)	Suelo seco (g)	% Humedad	Densidad Seca* (Kg/m3)
0	56,5	299,7	240,5	59,20	184,00	32,17	1413,63
3	57,1	262,7	210	52,70	152,90	34,47	1375,49
33	56,6	258,5	208,5	50,00	151,90	32,92	1256,64

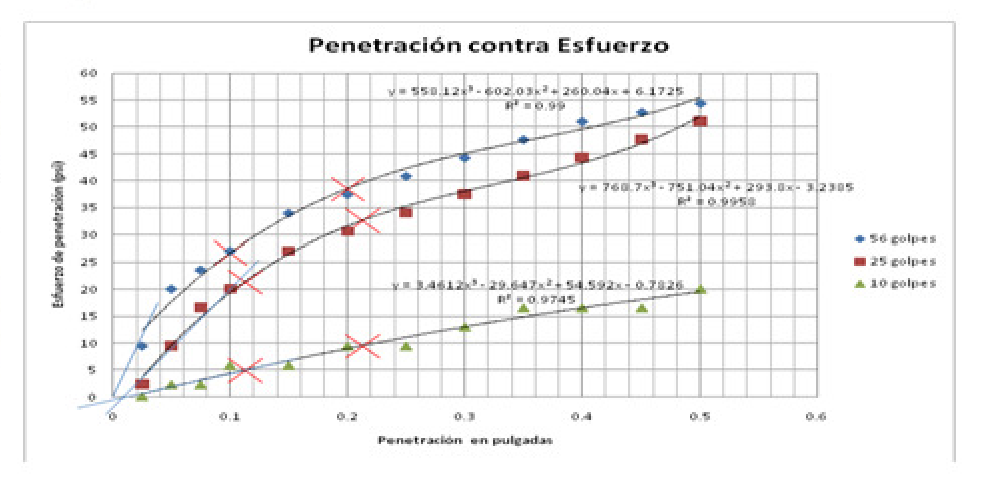
Cuadro. Valores de CBR, para cada energía de compactación.

Valores de CBR

Golpes	0,1	0,2
56	2,67	2,57
25	2,14	2,18
10	0,50	0,63

Densidad vrs CBR

Golpes	Densidad (Kg/m3)	CBR
56	1413,63	2,67
25	1375,49	2,18
10	1256,64	0,63



Anexo 7. Determinación del CBR del suelo. (Fuente: Proyecto de Graduación. ITCR 2010. William Bustillos)

Nivel de Servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad.
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar.
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos.
F	Flujo forzado, condiciones de "pare y siga", congestión de tránsito.

Anexo 8. Niveles de servicio. (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA)

Factores de Hora Pico (FHP) para Carreteras de dos Carriles

Volumen Horario (vehículos/hora)	FHP
100	0.83
200	0.87
300	0.90
400	0.91
500	0.91
600	0.92
700	0.92
800-900	0.93
1000-1400	0.94
1500-1800	0.95
1900	0.96

Anexo 9. **Factor hora pico.** (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA)

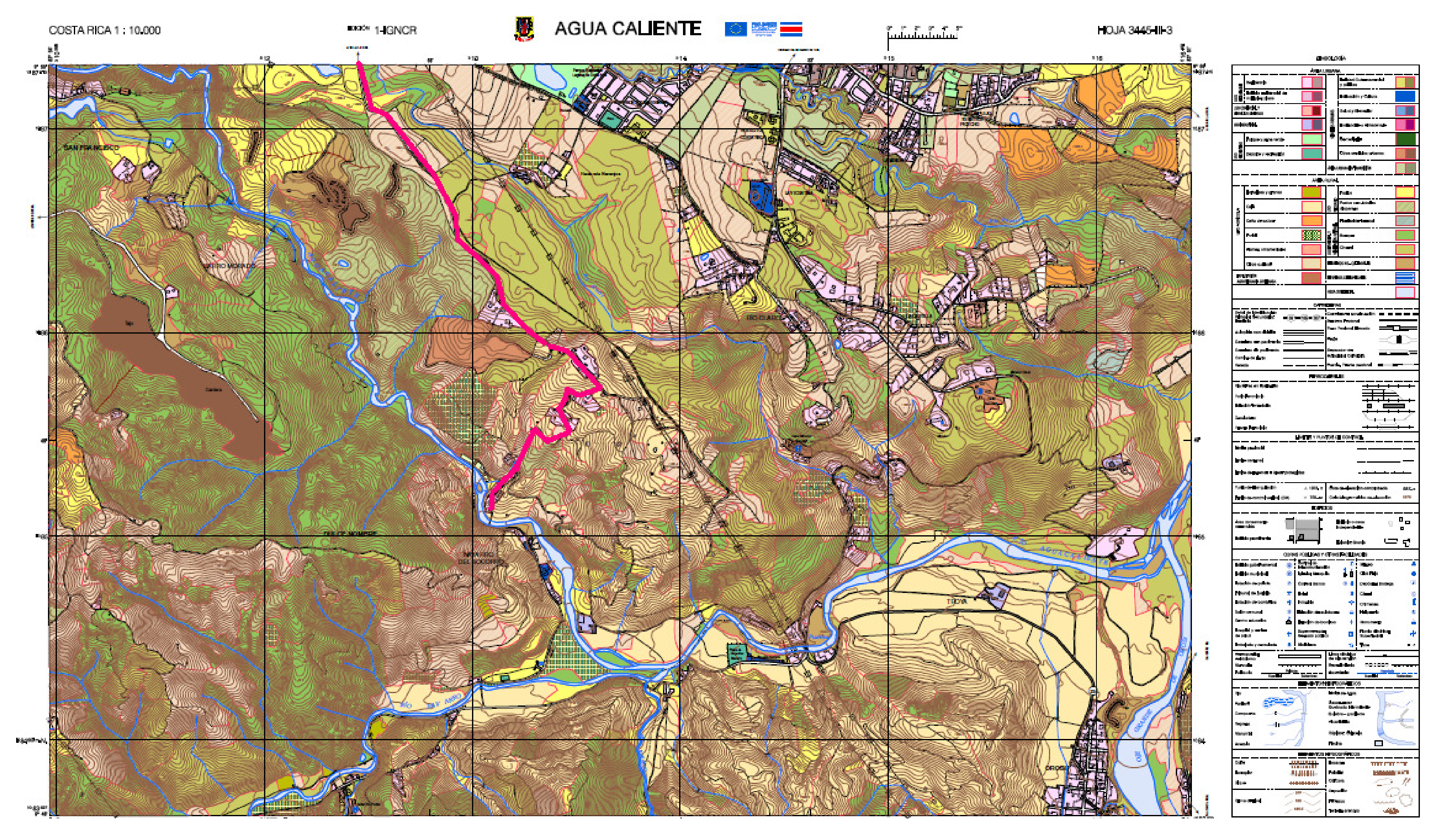
Valores Máximos Típicos para "e" y "f"

País	e	f	Velocidad de Diseño km/h	Tipo de Carreteras
Gran Bretaña[8]	0.06	0.15	100	Especiales
	0.07	0.10	120	Autopistas
Estados Unidos[9]	0.08	0.14	80	Rurales
	0.12	0.10	110	Rurales
Alemania	0.06	0.04	160	Autobahn-Terreno plano
		0.10	100	Autobahn-Terreno montañoso
Malasia	0.10	0.15	95	Camino Rural
Honduras[10]	0.04	0.18	30	Rurales
	0.10	0.13	100	Autopistas suburbanas
El Salvador[11]	0.04	0.17	30	Urbanas y Rurales
	0.10	0.11	110	Autopistas Suburbanas y Rurales

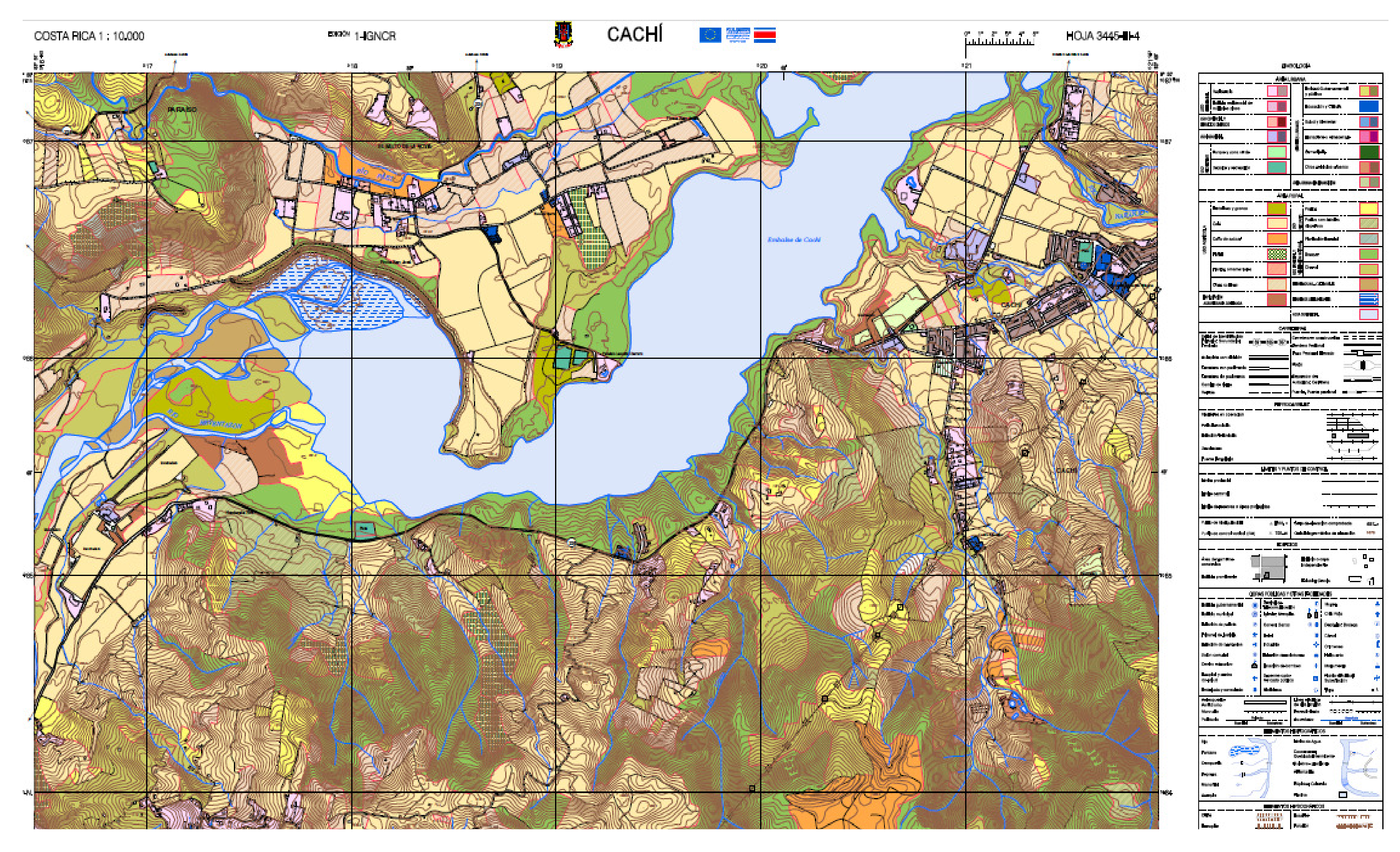
Anexo 10. Valores de friccion lateral de las llantas y tasa de sobreelevacion (Fuente: "Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales" SIECA)

	PROYECTO RUTA #3 - LLANO BRENES					
	TODO EL PROYECTO					
	El proyecto consiste en el mejoramiento de un camino cantonal entre el poblado de Llano Brenes y la ruta nacional #3, compuesta por una vía de dos carriles que totalizan 7100 m de longitud, con curvas de radios de giros iguales o superiores a los 15m, con gradientes longitudinales iguales o menores a 18%, un ancho de calzada de 5.5m y curvas verticales y horizontales iguales o superiores a los 40m de longitud, estructura de rodamiento con tratamiento superficial (TS3) y sistema de evacuación de aguas pluviales que consta de cunetas revestidas de 50cm de profundidad, sistema de alcantarillas y canales de desfogue, ademas de barandas de proteccion del tipo Flex bearn.					
REGLON DE PAGO	SUMARIO DE CANTIDADES					
	DESCRIPCION					
		UNIDAD	CANTIDADES	Precio Unitario	Precio Total ¢	1$=¢565,11
109(4)	TRABAJO A COSTO DE PORCENTAJE	glo		5%	₡62,734,583.54	$111,013.05
107(1)	SUMINISTROS Y COLOCACION DE SEÑALES VERTICALES	c/u	40	₡109,492.90	₡4,379,716.00	$7,750.20
107(3)	SUMINISTRO EQUIPO MATERIALES Y MANO DE OBRA PARA MARCAR LA VIA	Km	7.1	₡1,185.00	₡8,413.50	$14.89
203(3)	EXCAVACION NO CLASIFICADA	m3	26358	₡9,057.00	₡238,724,406.00	$422,438.83
203(8)	EXCAVACION DE PRESTAMO CASO 2	m3	2233	₡11,016.00	₡24,598,728.00	$43,529.10
203(14)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CUNETAS LATERALES	Km	7.1	₡320,830.34	₡2,277,895.41	$4,030.89
204(1)	SUB BASE GRADUACION D	m3	11717	₡15,912.00	₡186,440,904.00	$329,919.67
206(1)	EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	m3	1454	₡8,935.00	₡12,991,490.00	$22,989.31
206(3)	RELLENO PARA FUNDACION	m3	182	₡12,484.00	₡2,272,088.00	$4,020.61
207(1)	CONFORMACION DE SUBRAZANTE CONSTRUIDA ANTERIORMENTE	Km	7.1	₡1,142,230.86	₡8,109,839.11	$14,350.90
304(3)	BASE DE AGREGADOS MEDIDOS EN SITIO GRADUACION B	m3	7810	₡25,459.00	₡198,834,790.00	$351,851.48
408(3)	ASFATO EMULSIONADO PARA IMPRIMACION BASE GRANULAR	Lt	39050	₡714.00	₡27,881,700.00	$49,338.54
408(5)	MATERIAL DE SECADO PARA BASE GRANULAR	m3	37.67	₡18,072.00	₡680,772.24	$1,204.67
410(1)	AGREGADOS PARA TRATAMIENTO BITUMINOSO SUPERFICIAL TIPO TS-3	m3	392	₡20,704.00	₡8,115,968.00	$14,361.75
410(3)	ASFALTO EMULSIONADO PARA TRATAMIENTO BITUMINOSO SUPERFICIAL TIPO TS-3	Lt	148390	₡714.00	₡105,950,460.00	$187,486.44
602A(1)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE A DE 225 KG/M2	m3	209	₡210,905.00	₡44,079,145.00	$78,001.00
602A(6)	HORMIGON ESTRUTURAL CLASE X DE 160 KG/M2	m3	124	₡206,611.00	₡25,619,764.00	$45,335.89
602C(1)	VARILLA PARA REFUERZO	Kg	14441	₡597.32	₡8,625,898.12	$15,264.10
603(21)3A	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,60 m Ø	m	71	₡71,425.00	₡5,071,175.00	$8,973.78
603(21)3B	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 0,80 m Ø	m	262	₡114,380.00	₡29,967,560.00	$53,029.60
603(21)3D	TUBO DE HORMIGON REFORZADO CLASE III DE 1.00m Ø	m	26	₡303,175.00	₡7,882,550.00	$13,948.70
606(9)	BARANDA DE PROTECCION (TIPO FLEX BEARN)	m	1825	₡76,744.00	₡140,057,800.00	$247,841.66
618(5)	LIMPIEZA Y CONFORMACION DE CANALES	m	280	₡8,346.67	₡2,337,067.60	$4,135.60
619B(2)	ZAMPEADO REVESTIDO	m3	385	₡26,516.21	₡10,208,740.85	$18,065.05
622A(3)	CUNETA REVESTIDA CON TOBA CEMENTO	m	8470	₡18,840.00	₡159,574,800.00	$282,378.30
	TOTAL				₡1,317,426,254.37	$2,331,274.01
	TIPO DE CAMBIO DEL 01/02/10					

Anexo 11. Sumario de cantidades y presupuesto de proyecto MOPT Llano Brenes- Ruta 3 (Fuente: Depto de Contratacion Administrativa MOPT).



Anexo 12 Uso de suelo en la zona de Agua Caliente. (Fuente: Ministerio de Vivienda y Asentamientos urbanos)



Anexo 13. Uso de suelo en la zona del valle de Orosi. (Fuente: Ministerio de Vivienda y Asentamientos urbanos)

Cuadro 14
Índice de Desarrollo Social Cantonal 2007, según División Territorial Administrativa

Código	Cantón	Valor	Posición	Código	Cantón	Valor	Posición
101	San José	58,6	23	212	Valverde Vega	48,7	40
102	Escazú	94,1	2	213	Upala	7,1	77
103	Desamparados	49,7	38	214	Los Chiles	5,2	79
104	Puriscal	48,3	43	215	Guatuso	25,6	64
105	Tarrazú	30,4	58	301	Cartago	51,2	34
106	Aserrí	38,6	51	302	Paraíso	40,0	49
107	Mora	49,9	37	303	La Unión	52,9	30
108	Goicoechea	62,4	20	304	Jiménez	45,0	45
109	Santa Ana	84,4	4	305	Turrialba	25,2	66
110	Alajuelita	48,5	42	306	Alvarado	59,0	22
111	Vásquez Coronado	65,4	17	307	Oreamuno	49,5	39
112	Acosta	25,8	63	308	El Guarco	50,5	36
113	Tibás	68,6	13	401	Heredia	67,7	15
114	Moravia	80,9	6	402	Barva	67,8	14
115	Montes de Oca	88,6	3	403	Santo Domingo	76,3	8
116	Turrubares	51,3	33	404	Santa Bárbara	69,9	12
117	Dota	28,0	60	405	San Rafael	66,8	16
118	Curridabat	71,7	11	406	San Isidro	75,2	9
119	Pérez Zeledón	36,8	55	407	Belén	100,0	1
120	León Cortés	36,2	56	408	Flores	83,5	5
201	Alajuela	51,1	35	409	San Pablo	71,9	10
202	San Ramón	52,4	31	410	Sarapiquí	21,2	68
203	Grecia	48,7	41	501	Liberia	40,6	48
204	San Mateo	61,0	21	502	Nicoya	39,5	50
205	Atenas	63,1	19	503	Santa Cruz	57,4	24
206	Naranjo	44,5	46	504	Bagaces	42,0	47
207	Palmares	77,0	7	505	Carrillo	55,8	27
208	Poás	56,9	25	506	Cañas	37,5	53
209	Orotina	37,9	52	507	Abangares	27,0	61
210	San Carlos	32,6	57	508	Tilarán	51,5	32
211	Alfaro Ruiz	65,4	18	509	Nandayure	37,5	54

Anexo 14. Índice de desarrollo social 2007 (Fuente: Ministerio de Planificación)

Cuadro 8
INDICE DE DESARROLLO SOCIAL CANTONAL
SEGÚN LA DIVISIÓN TERRITORIAL ADMINISTRATIVA

CÓDIGO	CANTÓN	VALOR ÍNDICE	POSICIÓN*	CÓDIGO	CANTÓN	VALOR ÍNDICE	POSICIÓN*
	SAN JOSÉ				**HEREDIA**		
101	San José	63,7	27	401	Heredia	67,8	17
102	Escazú	73,3	8	402	Barva	63,3	28
103	Desamparados	66,1	23	403	Santo Domingo	70,2	14
104	Puriscal	51,8	48	404	Santa Bárbara	69,4	15
105	Tarrazú	43,3	67	405	San Rafael	67,3	18
106	Aserrí	51,2	49	406	San Isidro	78,5	4
107	Mora	61,7	34	407	Belén	94,9	2
108	Goicoechea	66,7	22	408	Flores	100,0	1
109	San Ana	55,8	41	409	San Pablo	74,3	6
110	Alajuelita	58,7	39	410	Sarapiquí	28,5	75
111	Coronado	71,0	10		**GUANACASTE**		
112	Acosta	47,3	60	501	Liberia	48,9	52
113	Tibás	70,6	11	502	Nicoya	48,4	54
114	Moravia	70,5	12	503	Santa Cruz	52,8	47
115	Montes de Oca	85,0	3	504	Bagaces	43,9	65
116	Turrubares	49,1	51	505	Carrillo	46,1	61
117	Dota	45,9	62	506	Cañas	49,9	50
118	Curridabat	73,3	9	507	Abangares	43,1	68
119	Pérez Zeledón	48,9	53	508	Tilarán	63,2	29
120	León Cortés	38,0	71	509	Nandayure	53,1	46
	ALAJUELA			510	La Cruz	16,4	79
201	Alajuela	61,5	35	511	Hojancha	56,9	40
202	San Ramón	54,6	44		**PUNTARENAS**		
203	Grecia	67,0	20	601	Puntarenas	54,8	43
204	San Mateo	59,0	38	602	Esparza	62,8	30
205	Atenas	68,8	16	603	Buenos Aires	22,2	77
206	Naranjo	55,4	42	604	Montes de Oro	63,9	26
207	Palmares	73,4	7	605	Osa	41,3	69
208	Poás	61,4	36	606	Aguirre	47,5	59
209	Orotina	64,6	25	607	Golfito	44,0	64
210	San Carlos	45,5	63	608	Coto Brus	30,9	74
211	Alfaro Ruiz	67,1	19	609	Parrita	47,9	57
212	Valverde Vega	70,3	13	610	Corredores	35,4	73
213	Upala	17,4	78	611	Garabito	48,3	55
214	Los Chiles	8,9	80		**LIMÓN**		
215	Guatuso	40,5	70	701	Limón	48,0	56
	CARTAGO			702	Pococí	43,8	66
301	Cartago	66,7	21	703	Siquirres	36,4	72
302	Paraíso	62,0	32	704	Talamanca	0,0	81
303	La Unión	62,7	31	705	Matina	22,6	76
304	Jiménez	59,3	37	706	Guácimo	47,8	58
305	Turrialba	53,6	45				
306	Alvarado	76,8	5				
307	Oreamuno	65,4	24				

Anexo 15. Índice de desarrollo social 2001 (Fuente: Ministerio de Planificación)

ÍNDICE DE DESARROLLO SOCIAL DISTRITAL
Según: Cantones, distritos, población y extensión
Año: 1999

El Indice de Desarrollo Social (IDS), constituye un indicador resumen que mide las brechas geográficas entre las diferentes áreas geográficas del país (cantones y distritos), esta compuesto por las siguientes variables:

- Infraestructura educativa,
- Acceso a Programas Educativos Especiales,
- Porcentaje de defunciones de 0 a 5 años respecto a la mortalidad general,
- Porcentaje de retardo en talla de la población de primer grado de escuela,
- Consumo promedio mensual de electricidad residencial.
- Porcentaje de nacimiento de niños (as) de madres solas.
- IDS promedio cantonal.

El valor del IDS oscila entre 0 y 100, correspondiendo el valor más alto al cantón en mejor situación sociodemográfica y el más bajo al que presenta el mayor rezago en su nivel de desarrollo.

CÓDIGO	CANTÓN- DISTRITO	POBLACIÓN Julio-1999	EXTENSIÓN Km^2	*IDS*
	PARAÍSO			
30201	Paraíso	24.311	34,5	70,4
30202	Santiago	4.634	25,3	46,7
30203	Orosí	8.621	315,3	57,6
30204	Cachí	5.615	36,8	64,4
10104	Catedral	26.927	2,3	66,9
10105	Zapote	23.980	2,9	75,1
10106	San Francisco de Dos Ríos	21.637	2,7	77,9
10107	Uruca	16.411	8,4	58,2

Anexo 16. Índice de desarrollo social 1999 (Fuente: Ministerio de Planificación)

Apéndice